

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra Elektroenergetiky

**Vyhodnocovanie parametrov kvality elektrickej energie
v distribučných
sieťach**

**The Evaluation of Power Quality Parameters
in Distribution Networks**

Rok:2020

Ladislav Bielko

Zadání bakalářské práce

Student:

Ladislav Bielko

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907R001 Elektroenergetika

Téma:

Vyhodnocování parametrů kvality elektrické energie v distribučních sítích

The Evaluation of Power Quality Parameters in Distribution Networks

Jazyk vypracování:

slovenština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor problematiky kvality elektrické energie
2. Technické možnosti měření parametrů kvality
3. Možnosti vyhodnocování parametrů kvality
4. Ukázka vyhodnocení reálných dat

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Santarius P.: Elektromagnetická kompatibilita, Učební texty VŠB-TUO, Ostrava, 2007
2. ČSN EN 50160 ed. 3: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě
3. Další související normy a předpisy
4. Technická dokumentace výrobců analyzátorů sítí
5. Další literatura podle pokynu vedoucího práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Krejčí, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2020


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Vlastnoručným podpisom prehlasujem, že som túto prácu vypracoval samostatne. Použitú literatúru a písomnosti som uviedol.

Dňa: 9. 5. 2020



.....
Podpis

Chcel by som poďakovať svojmu vedúcemu tejto bakalárskej práce doc. Ing. Petrovi Krejčímu, Ph.D. za odborné vedenie, poskytnutie informácií o danej problematike a za cenné rady a pripomienky pri konzultáciách.

Abstrakt

Obsah tejto práce zahrňuje tri základné kapitoly, pojednávajúce jednak o popisu kvalitatívnych parametrov napájacieho napätia a jednak o meraní a vyhodnocovaní zistených dát. Teoretická časť tvorí úvodnú kapitolu, v ktorej sú popísané základne charakteristiky napájacieho napätia a pre ne normou dané limity. V ďalšej kapitole nasleduje popis prístrojov pre meranie kvality napájacieho napätia. Účelom týchto častí je uviesť čitateľa do problematiky kvality elektrickej energie a predovšetkým slúži ako príprava pre meranie a vyhodnocovanie parametrov kvality napätia v súlade s normou ČSN EN 50160 (*Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*). Analýza skutočnej siete je záverečnou časťou tejto práce, v ktorej sa aplikujú dosiahnuté znalosti na zistení skutočného stavu kvalitatívnych parametrov napájacieho napätia v sieti.

Kľúčové slová: analýza; fliker; frekvencia; harmonické vyšších radov; medziharmonické; meranie; napájacie napätie; nesymetria napätia; pokles napätia; prepätie; prerušenie napätia;

Abstract

This thesis deals with three primary chapters, first one is description of qualitative parameters of supply voltage as well as measurement and data evaluation issues. Theoretical part describes basic characteristics of supply voltage and limits based on standard specification. Next chapter deals with specification of measurement devices used for supply voltage quality measurement. The purpose of these parts is to introduce reader into supply voltage quality issues and can be used for preparation of measurement and acquired data evaluation under norm ČSN EN 50160 (*Voltage characteristic of electricity supplied by public distribution systems*). An analysis of real network is the last part of this thesis, in which application of acquired knowledge on assignment of real states of qualitative parameters of supply voltage in network.

Keywords: analyse; flicker; frequency; harmonics of higher ranks; interharmonics; measurement; supply voltage; voltage unbalance; supply voltage dip; overvoltage; supply interruption;

Obsah

Zoznam použitých symbolov a skratiek	7
Zoznam použitých obrázkov	8
Zoznam použitých tabuliek	8
Úvod	9
1 Distribučná sieť	10
1.1 Elektromagnetická kompatibilita (EMC)	11
1.2 Druhy elektromagnetického (energetického) rušenia	11
1.3 Elektromagnetická kompatibilná úroveň	12
2 Harmonické vyšších radov v elektrických sieťach	13
2.1 Interharmonické	15
2.2 Veličiny charakterizujúce vyššie harmonické	15
2.3 Znižovanie úrovne harmonických	16
2.3.1 Pasívne filtry	17
2.3.2 Aktívne filtry	17
3 Poklesy a prerušenia napätia	19
3.1 Krátkodobý pokles napájacieho napätia	19
3.2 Prerušenie napájacieho napätia	20
4 Prepätie	22
5 Kolísanie napätia	23
5.1 Blikanie (flicker)	24
5.1.1 Šírenie flikru v sieti	25
5.2 Možnosti potlačenia kolísania napätia	26
6 Nesymetria trojfázového napätia	27
7 Meracie prístroje pre monitorovanie kvality elektrickej energie	29
7.1 Analyzátor sieti BK-ELCOM ENA 500.22	29
7.2 PQ monitor Meg38/C	30
7.3 Fluke 437-II Analyzátor kvality elektrickej energie	31
8 Spracovanie meraných parametrov kvality	33
8.1 Meranie NN1	34
8.2 Meranie NN2	35
8.3 Meranie VN1	36
8.4 Meranie VN2	37
8.5 Meranie VVN	38
8.6 Vyhodnotenie merania	39
Záver	40

Zoznam použitých symbolov a skratiek

AC	A	striedavý prúd
C	F	kapacita
$\cos \varphi$	-	účinník
DC	A	jednosmerný prúd
d	%	relatívna zmena napätia
f	Hz	frekvencia
F_a, F_b, F_c	-	fázory A, B a C
$f_a(t), f_b(t), f_c(t)$	-	okamžitá hodnota fázorov A, B a C
HDO		hromadné diaľkové ovládanie
I_n	A	menovitá hodnota prúdu
I_1	A	súsledná zložka prúdu
I_2	A	spätná zložka prúdu
L	H	indukčnosť
P_{st}, P_{Lt}		krátkodobá/dlhodobá miera vnímania flikru
R	Ω	rezistivita
S_k	VA	skratový výkon
t	s	čas
U_f	V	napätie reprezentujúce zdroj rušenia
U_n	V	menovité (referenčné) napätie
U_1	V	napätie siete
U_1	V	súsledná zložka napätia
U_2	V	spätná zložka napätia
ρ_I	-	koeficient prúdovej nesymetrie
ρ_U	-	koeficient napäťovej nesymetrie
ΔU	%	hlbka poklesu
Δt	s	trvanie poklesu
ΔU	V	zmena napätia

Zoznam použitých obrázkov

Obr.č.1 Grafické vysvetlenie elektrizačnej sústavy.....	10
Obr.č.2 Priebiehy základnej, tretej a piatej harmonickej prúdu.....	13
Obr.č.3 Súčet základnej, tretej a piatej harmonickej zložky prúdu.....	14
Obr.č.4 Záťaž s lineárnou V-A charakteristikou.....	14
Obr.č.5 Záťaž s nelineárnou V-A charakteristikou.....	15
Obr.č.6 Príklad zapojenia nn pasívneho filtra [2].....	17
Obr.č.7 Pribeh poklesu napätia.....	19
Obr.č.8 Pribeh dočasného prepätia s dobou trvania t_1	22
Obr.č.9 Zmena svetelného toku žiarovky spôsobená zmenou napätia.....	24
Obr.č.10 Bloková schéma napäťových hladín el. sústavy.....	25
Obr.č.11 Elektrická schéma napäťových hladín el. sústavy pre zdroj rušenia v bode A.....	25
Obr.č.12 Elektrická schéma napäťových hladín el. sústavy pre zdroj rušenia v bode C.....	26
Obr.č. 13 Fázorový diagram prúdovej nesymetrie.....	28
Obr.č. 14 Merací prístroj ELCOM ENA 500.22.....	30
Obr.č. 15 PQ Monitor Meg38/C.....	31
Obr.č. 16 Analyzátor 3-fázových sietí Fluke 437-II.....	32
Obr.č. 17 El. schéma napäťových hladín.....	33
Obr.č. 18 Graf. priebehy veličín Plt a napätia na hladine NN1 pre všetky fázy.....	34
Obr.č. 19 Graf. priebehy veličín Plt a napätia na hladine NN2 pre všetky fázy.....	35
Obr.č. 20 Graf. priebehy veličín Plt a napätia na hladine VN1 pre všetky fázy.....	36
Obr.č. 21 Graf. priebehy veličín Plt a napätia na hladine VN2 pre všetky fázy.....	37
Obr.č. 22 Graf. priebehy veličín Plt a napätia na hladine VVN pre všetky fázy.....	38

Zoznam použitých tabuliek

Tab.č. 1 Prehľad hlavných javov ovplyvňujúcich kvalitu dodávky elektrickej energie [2].....	12
Tab.č. 2 Technická špecifikácia prístroja BK-ELCOM ENA 500.22.....	29
Tab.č. 3 Rozsah a presnosť Meg30/C.....	30
Tab.č. 4 Rozsah a presnosť analyzátoru Fluke 437-II.....	31
Tab.č. 5 Nastavenie parametrov podľa normy [1] pre analýzu pomocou BK-Report.....	33
Tab.č. 6 Normatívne vyhodnotenie parametrov hladiny NN1.....	34
Tab.č. 7 Normatívne vyhodnotenie parametrov hladiny NN2.....	35
Tab.č. 8 Normatívne vyhodnotenie parametrov hladiny VN1.....	36
Tab.č. 9 Normatívne vyhodnotenie parametrov hladiny VN2.....	37
Tab.č. 10 Normatívne vyhodnotenie parametrov hladiny VVN.....	38
Tab.č. 11 Celkové zhodnotenie meraných veličín podľa ČSN EN 50 160.....	39

Úvod

Elektrická energia je dnes najdôležitejšia a zároveň najkomplikovanejšia komodita na trhu. Vďaka pomerne jednoduchému prenosu a premene na iné formy energie je najušľachtilejšia forma energie. Získavame ju premenou iných prírodných druhov energie, a to tepelnej, mechanickej, chemickej či svetelnej a ďalších. Má však základný problém, nedá sa vyrobiť do zásoby. To znamená že je nemožné v predstihu skontrolovať a napraviť jej kvalitu, pretože výroba a predaj prebiehajú v jednom okamihu.

Zmyslom tejto práce je teoretický rozbor distribučnej siete elektrickej energie, jej význam, porovnanie ideálneho a skutočného stavu, základný popis a problematika. Táto práca bude hodne čerpať z normy ČSN EN 50160 (*Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*) a z odborných elektrotechnických vysokoškolských skript pre hodnovernosť a presnosť spracovania. Budú predstavené a podrobne rozbrané všetky parametry kvality elektrickej energie, a s možnými technickými možnosťami riešenia kvality elektrickej energie. Zároveň som chcel, aby táto práca poslúžila ako teoretický základ do problematiky kvality elektrickej energie, poprípade príprava na praktické meranie.

Následne budú predstavené technické prostriedky merania parametrov kvality elektrickej energie v distribučných sieťach. Budú predstavené najpoužívanejšie meracie prístroje a jeden z najmodernejších. Všetky meracie prístroje budú vyhovovať kvalitatívnej triede A pre meracie prístroje, pre najpresnejšie meranie a spoluprácu s normami zaoberajúcimi sa kvalitou elektrickej energie.

Na to bude nadviesovať ukážka mnou spracovaných dát kvality elektrickej energie. Demonštrujem moderné spracovanie nameraných dát pomocou špeciálneho softwaru, určenému priamo na túto problematiku a vďaka nemu vyhodnotím merané parametre kvality el. energie na reálnom anonymnom subjekte. Spracovanie dát bude podliehať požiadavkám normy ČSN EN 50160, a celkové spracovanie tejto práce sa priblíži praktickému použitiu v oboru energetiky.

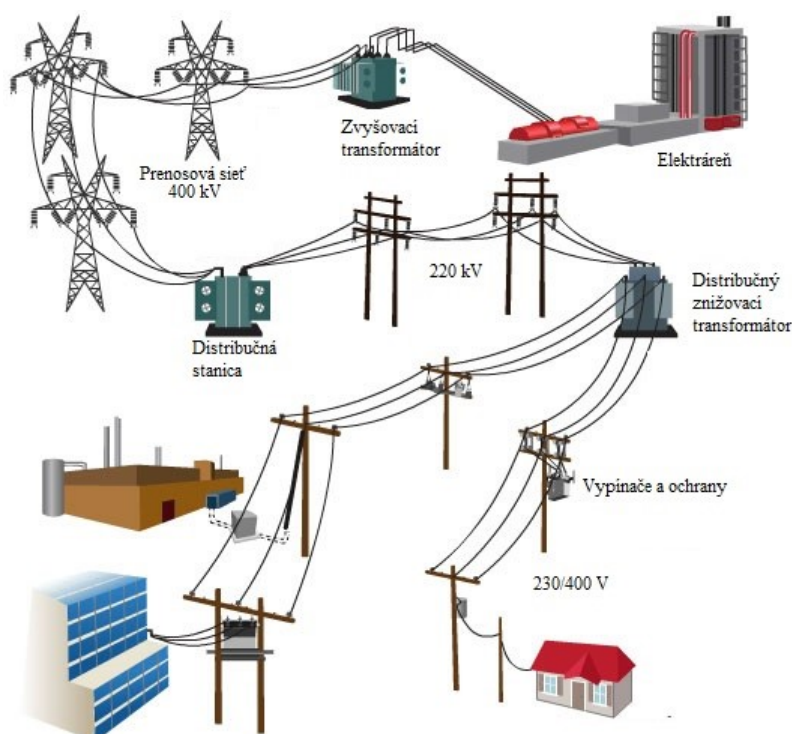
1 Distribučná sieť

DS je časť elektrizačnej sústavy, ktorá slúži pre dodávku elektrickej energie odberateľom. Patrí sem okružná a paprsková sieť vvn, vn, nn (110; 35; 22; 0,4 kV), teda regionálne a lokálne siete el. energie. Spolu s prenosovou sústavou tvoria celok, elektrizačnú sústavu. Dodávka el. energie podlieha norme ČSN EN 50160 a Pravidlám prevádzkovania distribučných sústav.

Podľa normy ČSN EN 50160 pre sledovanie kvality el. energie sú kľúčové parametre[1] [2]:

- Kmitočet siete
- Veľkosť a odchylky napájacieho napätia
- Rýchle zmeny napätia
- Krátkodobé poklesy napájacieho napätia
- Krátke a dlhodobé prerušenia napájacieho napätia
- Dočasné prepätia sieťového kmitočtu medzi vodičmi pod napätím a zemou
- Prechodné prepätia medzi vodičmi pod napätím a zemou
- Nesymetria napájacieho napätia
- Harmonické a medziharmonické napätia
- Napätia sieťových signálov v napájacíom napätí

Pre dodávateľov je dôležité zachovávať tieto parametre v určitých toleranciách, ktoré sú dané normami v Českej Republike (krajina tématu tejto práce) a tiež normami európskymi, pretože ČR je prepojená so západoeurópskou el. sústavou (UCTE).



Obr.č.1 Grafické vysvetlenie elektrizačnej sústavy

1.1 Elektromagnetická kompatibilita (EMC)

Podľa normy ČSN EN 1000-2-4 je EMC schopnosť zariadenia, alebo systému fungovať vyhovujúcim spôsobom vo svojom elektromagnetickom prostredí bez vytvárania neprístupného elektromagnetického rušenia čohokoľvek v tomto prostredí [2]. Z toho vyplýva že:

- prístroj, zariadenie alebo systém nemá produkovať rušenie, ktoré by prekračovalo predpísané medze.
- každý prístroj, zariadenie alebo systém musí vykazovať určitú mieru odolnosti voči rušeniu.

Podľa medzinárodnej elektrotechnickej komisie (IEC) sa EMC týka **celého frekvenčného spektra** (od jednosmerného prúdu až do oblasti GHz pásma) [2].

Ďalej podľa normy ČSN IEC 60050-161 sú definované pojmy:

- **elektromagnetické rušenie**: akýkoľvek elektromagnetický jav, ktorý môže zhoršiť prevádzku prístroja, zariadenia, systému alebo nepriaznivo ovplyvniť živú/neživú hmotu.
- **energetické rušenie**: akýkoľvek elektromagnetický jav, ktorý sa šíri vedením v energetickej rozvodnej sieti a ktorý môže zhoršiť prevádzku prístroja, zariadenia, systému pripojeného do tejto siete alebo nepriaznivo ovplyvniť živú/neživú hmotu.

Podľa definície je patrné že **rušenie** je jav, pri ktorom je funkcia elektronických zariadení ovplyvňovaná nežiadúcim spôsobom. Rušenie môže byť šírené [2]:

- galvanickou väzbou
- kapacitnou väzbou
- induktívnou väzbou
- elektromagnetickým žiarením

Zdroje rušenia môžu byť **prírodné** (pôvodom z atmosféry) alebo z **ľudskej činnosti** (energetické rušenie, zapalovanie automobilov, letecké radary). Opatrením k zamedzeniu rušenia je **odrušenie**, to je možné **tienením**, **filtrom** (kombináciou kondenzátorov a tlmiviek) alebo **pospojením neživých vodivých častí** el. zariadení.

1.2 Druhy elektromagnetického (energetického) rušenia

- **Harmonické**: Sinusové napätie s kmitočtom rovným celistvému násobku základného kmitočtu napájacieho napätia.
- **Interharmonické**: Sú to parazitné zložky prúdu alebo napätia, ktoré sa objavujú medzi harmonickými, a delíme ich do troch skupín:
 - a) **s diskretnou frekvenciou**, produkované niektorými zariadeniami silovej elektroniky (napr. cyklokonvertory) s frekvenciou na postranných pásmach harmonických.
 - b) **so spojitými spektrami**, (napr. v blízkosti EOP a elektrických zväračiek)
 - c) ako **pozadie s nízkou amplitúdou** na iných miestach
- **Kolísanie napätia**: Jedná sa o radu zmien amplitúdy napätia. Tento jav pôsobí nepriaznivo na všetkú elektroniku ktorá nemá stabilizovaný zdroj napätia, alebo je všeobecne citlivá na kolísanie prívodu napätia. Taktiež zapríčiniuje nežiadúci jav flicker.

- **Poklesy a prerušenia napätia:** Ide o sníženie amplitúdy pod dovolenú toleranciu (napr. v sieťach nn 230V pod -10%) s dobou trvania od 10 ms až do niekoľko s. Poklesy pod 5% napájacieho napätia nazývame prerušením napätia.
- **Nesymetria trojfázového napätia:** Rozumieme tomuto stavu trojfázovej siete keď efektívna hodnota aspoň jedného fázového napätia je odlišná od ostatných, alebo rozdiely fázových uhlov niesú rovnaké. Podľa tohto rozdeľujeme nesymetriu na:
 - a) **amplitúdovú**
 - b) **fázovú**
 - c) **obecnú**
- **Prechodné prepätia:** Krátkodobé prepätie s veľmi krátkou dobou trvania od niekoľko ns až do 10 ms.

Tab.č. 1 Prehľad hlavných javov ovplyvňujúcich kvalitu dodávky elektrickej energie [2]

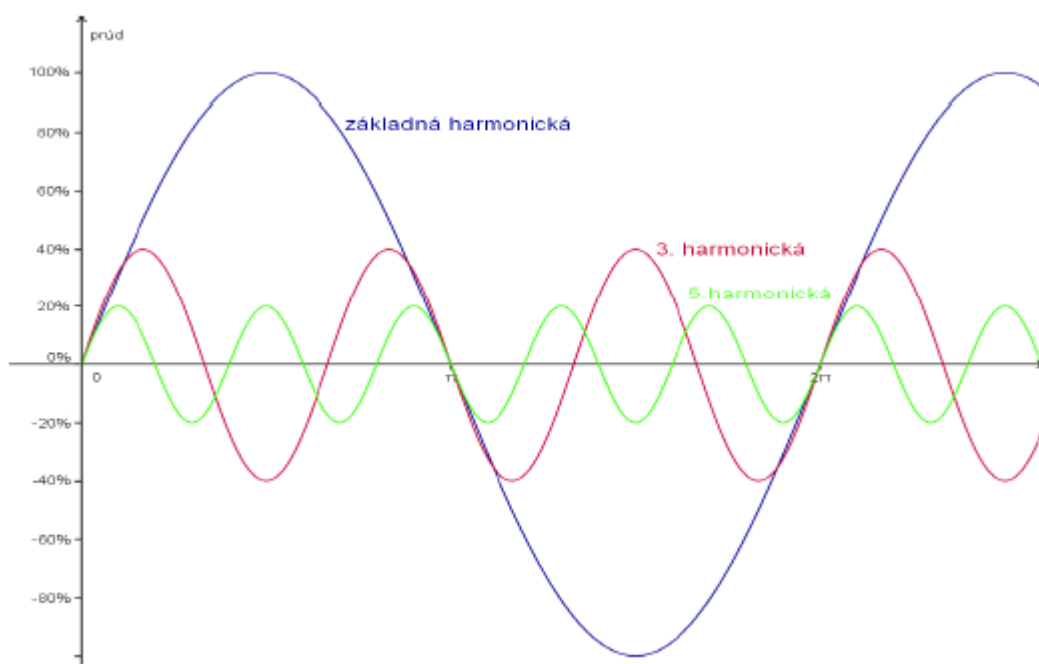
Druh javu ovplyvňujúci kvalitu dodávky napätia	Spôsob popisu	Typické príčiny	Príklad eliminácie javu
Prerušenie napätia	doba trvania	poruchy v sieti, pôsobenie ochran, opravy a údržba	akumulátory energie, zdroje UPS, záložné napájanie
Poklesy napätia	hĺbka poklesu veľkosti napätia, doba trvania	poruchy v sieti, spínanie veľkých záťaží	ferorezonančné transformátory CVT, akumulátory energie, zdroje UPS
Kolísanie napätia	krátkodobá/dlhodobá miera vnímania flikru	prerušovaná záťaž, rozbeh motorov, EOP	zariadenia na dynamickú kompenzáciu, zotrvačníky, voľba klieťky motoru
Harmonické napätia	veľkosť a spektrum, činiteľ harmonického skreslenia THD	nelineárna záťaž, rezonancia v sieti	pasívne a aktívne filtry
Nesymetria napätia	pomer spätnej a súslednej zložky napätia	nesymetria záťaže, nesymetrické poruchy	symetrizačné členy, rovnomerné rozloženie záťaží
Prepätie	vrcholová hodnota, doba trvania, krivka priebehu prepätia	údery blesku do vedenia, spínanie kondenzátorov, poruchy v sieti	svodiče prepätia, filtry, izolačné transformátory

1.3 Elektromagnetická kompatibilná úroveň

- predpísana maximálna úroveň elektromagnetického rušenia, o ktorej sa predpokláda, že bude ovplyvňovať prístroje, zariadenia alebo systémy prevádzkované v konkrétnych podmienkach
- V skutočnosti kompatibilná úroveň nie je absolútna maximálna hodnota, ale úroveň ktorá môže byť prekročená s malou pravdepodobnosťou (približne 5%, nedá sa určiť presne pretože sa jedná o prienik množín odolnosti zariadení a úrovni rušenia v sieti) [2].

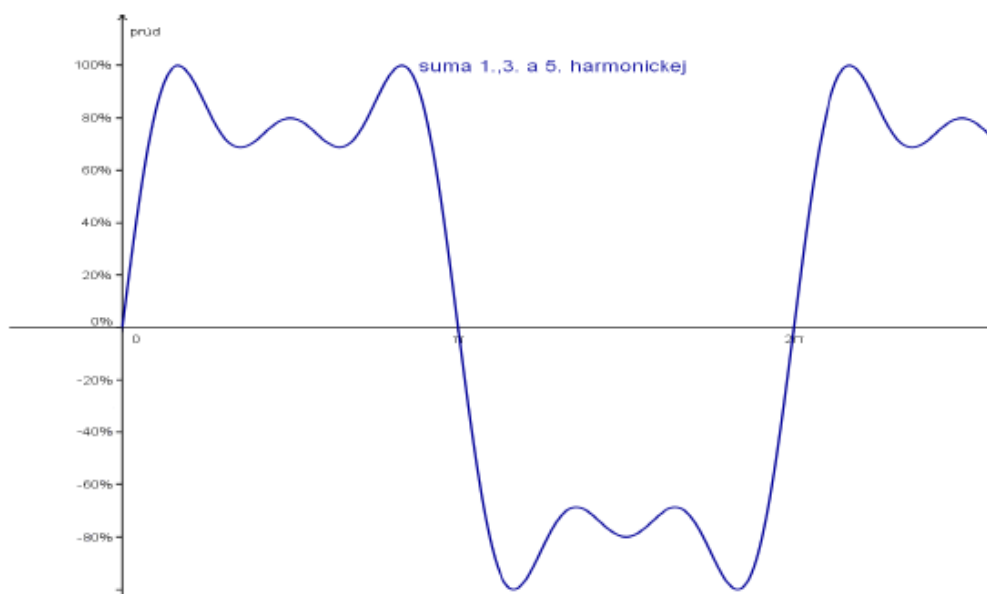
2 Harmonické vyšších radov v elektrických siet'ach

V súčasnosti patria harmonické vyšších radov medzi základné ukazatele kvality el. energie. Začali sa značne prejavovať koncom 70. rokov minulého storočia, keď nastal búrlivý nárast inštalovania polovodičových zariadení. Pod pojmom harmonické vyšších radov rozumieme sínusové priebehy (nie úplne presné tvrdenie, avšak goniometrická funkcia sínus sa najlepšie približuje priebehu tejto spojitkej funkcie) napätí/prúdov, ktorých frekvencia je celočíselný násobok základnej frekvencie, na ktorú bola daná sieť navrhnutá. Základná frekvencia v sieti v celej Európe je 50 Hz, potom 2. harmocká vyšších radov je $2 \cdot 50$ Hz čo predstavuje 100 Hz, 3. harmonická vyšších radov je 150 Hz, 4. harmonická vyšších radov 200 Hz atď... [2].



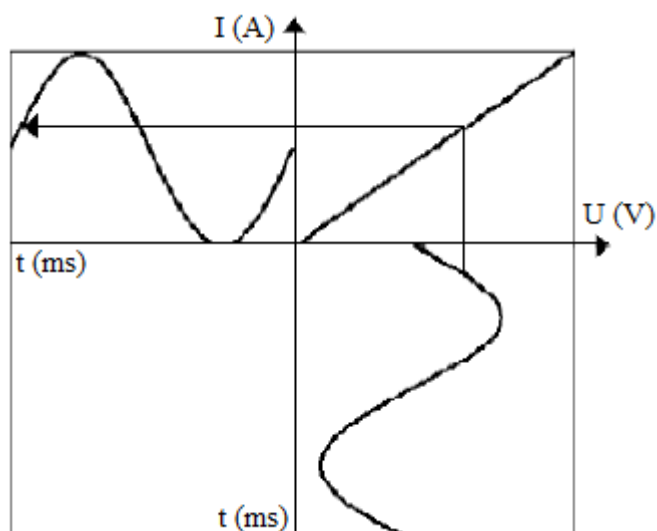
Obr.č.2 Priebehy základnej, tretej a piatej harmonickej prúdu

Z obrázku č.2 je patrné že sčítaním týchto harmonických zložiek získame nelineárny priebeh ktorý sa už nepodobá funkci sínus, čo vytvára značný problém pre naše zariadenia konštruované na sínusove napájanie. A to sme neuvažovali obsah vyšších harmonických vyšších radov do 20 rádu. Priebeh tejto funkcie je na obrázku č.3 .



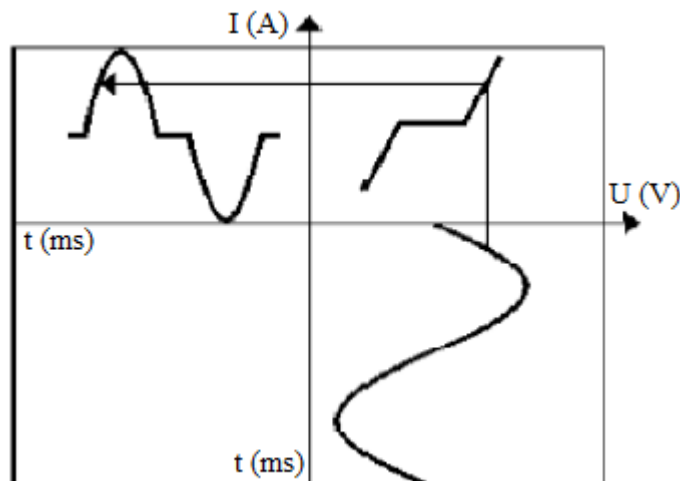
Obr.č.3 Súčet základnej, tretej a piatej harmonickej zložky prúdu

Uvažujme ideálny príklad, keď elektrizačnú sústavu tvorí len synchronný generátor a spotrebič bez vedení, transformátorov atď... . Vieme, že generátor dodáva do siete (v stave naprázdno) čisto sínusový priebeh napätia. Čiže aj napätie na spotrebiči bude čisto sínusové. Ak na túto sieť pripojíme spotrebič s lineárnou V-A charakteristikou, odozva prúdu na zmenu napätia bude proporcionálna (priebeh prúdu bude čisto sínusový), čomu odpovedá obrázok č.4.



Obr.č.4 Zátťaž s lineárnou V-A charakteristikou

Avšak, ak na sieť pripojíme záťaž s nelineárnou V-A charakteristikou ktorú tvorí väčšina používaných zariadení, tak odozva prúdu na zmenu napätia vykazuje značnú neproporcionalitu, čo spôsobuje vznik nesínusového priebehu prúdu. Obdobne ako v prvom prípade je priebeh napätia čisto sínusový, ale V-A charakteristika je nelineárna a výsledný priebeh prúdu je značne deformovaný (obr. č.5). Z tohto faktu vyplýva že harmonické vyšších radov vznikajú v nelineárnych obvodoch [2].



Obr.č.5 Záťaž s nelineárnou V-A charakteristikou

2.1 Interharmonické

Medziharmonické zložky napätia sú necelé násobky prvej harmonickej. Môžu sa prejavíť ako diskkrétne frekvencie alebo ako široké spektrum frekvencií. Nachádzame ich v sieťach na rôznych napäťových hladinách. Medzi zdroje produkujúce medziharmonické odozvy patria najmä [2]:

- statické frekvenčné meniče
- cyklokonvertory
- indukčné motory
- zariadenia pracujúce s oblúkom

Hlavný nepriaznivý účinok v sieti sa prejavuje v rušení HDO signálov. Medziharmonické zvyčajne nie sú stacionárne, menia sa v určitom časovom pásme okolo strednej frekvencie, čo komplikuje ich meranie.

2.2 Veličiny charakterizujúce vyššie harmonické

Najobvyklejšie porovnávame mieru výskytu harmonických na základe zastúpenia jednotlivých vyšších harmonických, ktoré sa určujú z Fourierovej analýzy. Najviac používaným parametrom určujúcim zastúpenie vyšších harmonických v sieti je koeficient THD (Total Harmonic Distortion). Veličina THD vyjadruje efektívnu hodnotu vyšších harmonických vo vzťahu k základnej harmonickej. Stanovujeme ňou navyše zohrievanie zariadení zapríčinené existenciou deformovaného napätia.

Koeficient THD pre napätie je definovaný [1]:

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n_{max}} U_n^2}}{U_1} \quad (2.1)$$

U_n – efektívna hodnota napätia n-tej harmonickej

U_1 – efektívna hodnota napätia 1. harmonickej

n – rád harmonickej

Obdobne pre prúd:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n_{max}} I_n^2}}{I_1} \quad (2.2)$$

I_n – efektívna hodnota prúdu n-tej harmonickej

I_1 – efektívna hodnota prúdu 1. harmonickej

n – rád harmonickej

2.3 Znižovanie úrovne harmonických

Obmedzenie harmonických u zdroja [2]:

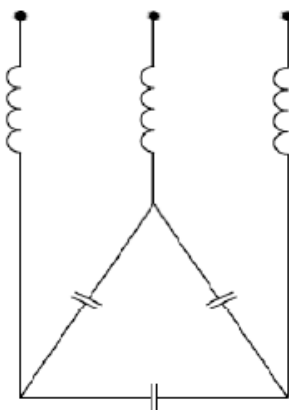
- použitie viacpulzných zapojení meničov (obvykle dvanásťpulzných)
- kombináciou dvoch (alebo viac) šesťpulzných meničov napájaných z trojvinutého transformátoru, kde sekundárne vinutia majú fázový posun 30°, pre piatu harmonickú je posun 150° a siedmu 210°, avšak nedojde k úplnému potlačeniu
- oddelenie spotrebičov ktoré generujú rušivé vplyvy od ostatných vhodným zapojením siete (napr. napájanie zo samostatných prípojnic)

Filtre harmonických:

- pasívne rezonančné filtre
- aktívne filtre

2.3.1 Pasívne filtry

Pasívne filtry sú sériovou, paralérnou alebo sérioparalérnou kombináciou indukčnosti L , kapacity C a rezistivity R . Používajú sa na zníženie účinkov prúdov a napätí vyšších harmonických. Ak pasívny filter vykazuje veľmi malú hodnotu impedancie pre danú rezonančnú frekvenciu, môže do filtra tiecť neúmerne veľký prúd, filter sa preťaží a môže dôjsť k odopnutiu od siete. Preťaženie filtra môže byť zapríčinené prítomnosťou nepravidelnej harmonickej zo strany dodávateľa el. energie, inštaláciou nového nelineárneho zariadenia vo vlastnej sieti alebo modifikáciou siete.



Obr.č.6 Príklad zapojenia nn pasívneho filtra [2]

Nevýhody používania pasívneho filtra:

- dodáva do siete **jalový výkon** a za určitých podmienok môže dôjsť k nežiaducemu prekompenzovaniu siete
- nie je možné regulovať stupeň filtrácie
- frekvencia, na ktorú je daný filter konštruovaný/naladený sa počas životnosti mení vplyvom starnutia jednotlivých komponentov
- jeden filter odstraňuje iba jednu harmonickú, takže na filtráciu každej harmonickej potrebujeme inštalovať ďalšie filtračné zariadenia

Uvedené nedostatky pasívnych filtrov odstraňujú filtry aktívne.

2.3.2 Aktívne filtry

Teoreticky sa dá aktívne filtry pochopiť ako paralérne alebo sériovo zapojené generátory riadené vhodným regulačným systémom tak, aby v dynamických stavoch bola zaistená požadovaná kompenzácia nevhodných harmonických zložiek. Zpôsobom zapojenia aktívneho filtra do siete sa dá vylepšiť priebeh prúdu, napätia alebo oboch.

Sú dva spôsoby filtrácie harmonických pomocou aktívnych filtrov [2]:

- generovanie **príslušnej harmonickej** v protifázi
- generovanie **zbytkovej krivky**

Rovnako ako pasívne tak aj aktívne filtry sa používajú sériové, paralérne a kombinované.

Použitie aktívnych filtrov:

- sieťové kondicionéry – filtrácia harmonických, stabilizácia napätia, kompenzácia účinniku
- rýchle kompenzátory účinniku
- symetrizácia zaťaženia
- potlačenie flikru

Aplikácia aktívnych filtrov

- kompenzácia na jednotkový účinik – vytvára sa prúd a napätie vo fázi (kompenzácia jalovej zložky prúdu)
- kompenzácia na sinusový priebeh – vytvára niektoré harmonické v protifázi, alebo zbytkovú krivku
- kompenzácia na konštantný výkon – pre trojfázové výkony

Aktívne filtry sú tvorené mostíkovým zapojením polovodičových spínačov. Ako spínače sa používajú **IGBT** (insulated gate bipolar transistor) tranzistory, čo sú bipolárne tranzistory s izolovaným hradlom (riadiacou elektródou). IGBT je integrovaná kombinácia unipolárnej a bipolárnej súčiastky. Jedná sa o rovnaké zapojenie ako mostíkový striedač, aj činnosť je obdobná. Filtry sa dajú podľa jednosmerného zdroja rozdeliť rovnako ako striedače na [2]:

- **filtry s prúdovým zdrojom** – zdrojom prúdu je indukčnosť. Funkcia filtra je analogická usmerňovaču s indukčnou záťažou. Prúd indukčnosti je udržiavaný na požadovanej hodnote tokom činného prúdu meničom
- **filtry s napäťovým zdrojom** – zdrojom napätia je kapacita. Bez spínania tranzistorov pracuje menič ako diodový usmerňovač s usmerneným napätím rovnakým ako amplitúda združeného napätia siete. Dôležité sú napätie na kondenzátore a maximálna strmosť nárastu prúdu. Pri zvyšovaní strmosti nárastu prúdu sa pri konštantnej spínacej frekvencii meniča zväčšuje zvlnenie prúdu.

3 Poklesy a prerušenia napätia

3.1 Krátkodobý pokles napájacieho napätia

Pokles napájacieho napätia je definovaný ako náhle zníženie napájacieho napätia pod hodnotu 90% menovitého (dohodnutého) napätia a následne vrátenie na hodnotu väčšiu ako 90% menovitej hodnoty behom doby 10ms až 60s [2].

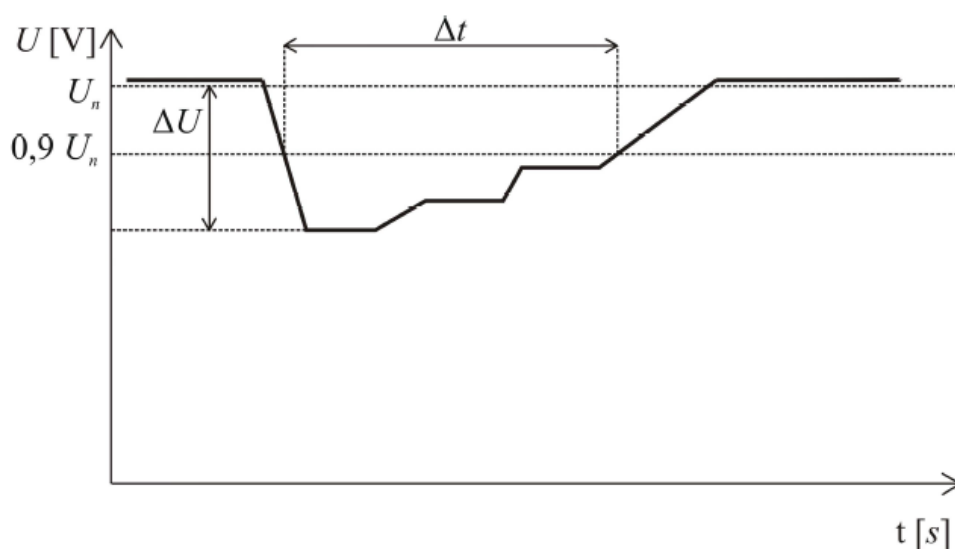
Pokles napätia je považovaný za jednu udalosť bez ohľadu na priebeh či počet postihnutých fáz. Pokiaľ dôjde k udalostiam v jednotlivých fázach v rovnakom čase, potom sa viacfázový pokles napätia považuje za udalosť jedinú. Najnižšia krajná hodnota poklesu napájacieho napätia je 5% U_n , čo predstavuje hĺbku poklesu 95%. Týmto limitom norma ČSN EN 50160 [1] rozlišuje pokles napájacieho napätia od prerušenia.

Krátkodobé poklesy bývajú obecné spôsobené poruchami v distribučných sieťach, alebo v elektroinštaláciách odberateľoch. Vzhľadom k rozsahu sietí to sú nepredvídateľné javy s nepravidelným množstvom výskytov. Väčšina vyskytujúcich poklesov má hĺbku menšiu než 60% a čas trvania do jednej sekundy [2].

Veličiny popisujúce pokles napájacieho napätia [2]:

- **hĺbka poklesu ΔU** - (%) tvorí percentuálny rozdiel medzi referenčným napätím a zbytkovým napätím.
- **trvanie poklesu Δt** - (s) časový interval označujúci dobu trvania poklesu napätia od zníženia pod prahovú hodnotu do okamžiku návratu na hodnotu prahovú, alebo vyššiu, prípadne hysterézne napätie, čo je okrajová hodnota prahového napätia používaná pre meranie.

Dolná hranica trvania poklesu je 10ms, čo je minimálna doba pri ktorej sa dá určiť efektívna hodnota. Horná hranica je 60s, čo je doba dostatočne dlhá na zahrnutie účinkov spínania a prepínania odbočiek transformátoru v napájanej sieti [1].



Obr.č.7 Priebeh poklesu napätia

3.2 Prerušenie napájacieho napätia

Stav pri ktorom je napätie menšie ako 5% dohodnutej hodnoty napätia [1]. Prerušenie napájacieho napätia môže byť triedené na [2]:

- **predom dohodnuté**, pri ktorých sú spotrebitelia el. energie predom informovaní. Umožňuje prevádzanie plánovaných prác na distribučných sieťach
- **poruchové**, spôsobené trvalými alebo prechodnými poruchami väčšinou spojenými s vonkajšími vplyvmi, tie sa ďalej rozdeľujú na [2]:
 - a) **krátkodobé prerušenia**, s dobou trvania do 3 minút, spôsobené prechodnou poruchou.
 - b) **dlhodobé prerušenia**, s dobou trvania nad 3 minúty, spôsobené trvalou poruchou.

Krátkodobé prerušenia napájacieho napätia

Krátkodobé prerušenie napätia nasleduje po vypnutí skratu vypínačom. Koniec prerušenia nastáva pri pripojení zdroja opäť na sieť, väčšinou prevádzané automatikou **opätovného zapnutia** (OZ). V prípade úspešného opätovného zapnutia je skrat eliminovaný a odberatelia sú napájaný daným vedením, ktoré je však poznamenané poklesom napätia. Doba trvania poklesu napätia je daná časovým oneskorením ochran, vypínaním dobou vypínača, prerušením a opätovným zapnutím [2].

V prípade neúspešného opätovného zapnutia skrat stále pretrváva. V postihnutom mieste vedenia potom nastáva znova pokles a vypínač skrat opäť vypne. Pokiaľ je vedenie vybavené s niekoľkonásobným opätovným zapnutím nasleduje ďalšie prerušenie a opätovné obnovenie dodávky, alebo konečné vypnutie vypínača pokiaľ porucha pretrváva. V kabelových podzemných sieťach sa automatika opätovného zapnutia nepoužíva, pretože je malá pravdepodobnosť že porucha odoznie samovoľne.

Ako krátkodobé prerušenie napätia norma ČSN EN 50160 [1] označuje prerušenie s dobou trvania do troch minút. Približne 70% krátkodobých prerušení nebýva dlhších než 1 sekundu.

Dlhodobé prerušenia napájacieho napätia

Tieto poruchové prerušenia napätia sú obvyklé spôsobené vonkajšími udalosťami alebo vplyvmi, ktorým odberateľ nemôže predchádzať. Podľa normy ČSN EN 50160 sa považuje za dlhodobé prerušenie napätia prerušenie ktoré trvá dlhšie ako 3 minúty [1].

Príčiny poklesov prerušení napätia

Hlavnou a najčastejšiou príčinou poruchy má za následok prietok skratového prúdu, ktorý musí byť eliminovaný vypnutím častí siete ohrozenou poruchou. Rozdeľujeme 2 príčiny poruchy [2]:

- **externé poruchy** (atmosferické a náhodné príčiny nezávislé na stave siete) :
 - a) podmienky počasia (búrka, blesk, hmla, sneh, mráz atď.) ktoré ovplyvňujú hlavne vonkajšie vedenie
 - b) náhodné príčiny, dotyk s cudzími časťami, kolízia vozidiel so stĺpmi vedenia, prip. narušenie kabelov pri výkopoch
 - c) prenos poruchy z priemyselnej siete
- **interné poruchy** (poruchy súvisiace s ukončením životnosti niektorého zariadenia siete):

- a) prieraz izolácie zariadenia siete (izolátory vedenia, káble, transformátory, vypínače atď.)
- b) chybná funkcia ochran
- c) chybná manipulácia obsluhy siete

Ďalej môžu byť poklesy a prerušenia napätia spôsobené [2]:

- spínacími operáciami pri ktorých sú zapínané veľké odbery
- všeobecne skratovými poruchami a následnou funkciou ochran

Účinky poklesov napätia a krátkych prerušení napätia

Môže nastať rušenie zariadení pripojených do rozvodnej siete. Typy nepriaznivých vplyvov, ktoré môžu byť spôsobené poklesom alebo krátkym prerušením napätia sú [2]:

- zhasínanie výbojek
- narušenie funkcie regulačných prístrojov
- zmeny rýchlosti alebo zastavovanie motorov
- vypínanie stykačov
- výpočetné chyby počítačov a strata dat v pamäti
- chybná funkcia meracích prístrojov vybavených elektronikou
- strata synchronného chodu synchronných motorov a generátorov
- komutačné chyby tyristorových mostíkov pracujúcich v striedačovom režime

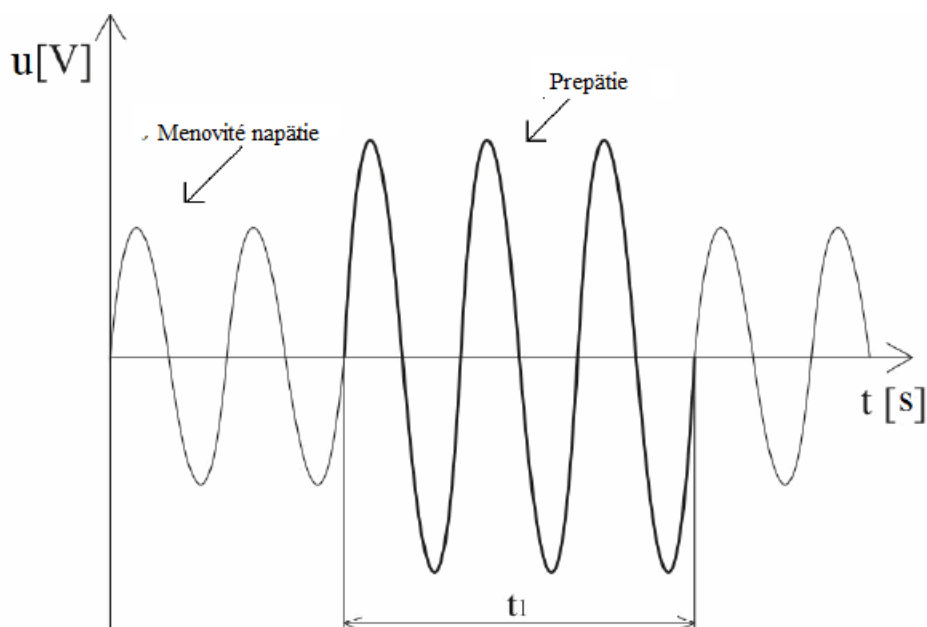
4 Prepätie

Prepätie je napätie vyššie, ako najvyššie povolené prevádzkove napätie. Norma ČSN EN 50160 [1] definuje prepätie ako napätie ktoré prekročí hodnotu 110% napätia referenčného. Prepätie v elektrizačnej sústave vzniká v dôsledku prevádzkových manipulácií a zmenám prevádzkanými prechodnými dejmi. Elektrické zariadenia sú obvykle konštruované tak, aby vydržali určitú úroveň prepätia po určitú dobu. Z hľadiska akým spôsobom prepätie vznikne, sa delia na [3]:

- **atmosferické prepätie** - najkratšie časy (μs), vonkajšie príčiny
- **spínacie prepätie** - kratšie doby trvania (ms), manipulácia v sieti
- **dočasné prepätie** - dlhé doby trvania (ferorezonancia), oscilácia združených napätí
- **prechodné prepätie** (izolovaný uzol) - zapínanie, vypínanie a prerušovanie zemného spojenia

Proti prepätiam, ktoré by mohli zariadenia poškodiť, je potrebné zariadenia chrániť vhodnou ochranou (bleskosvody, zemniace laná, ochranné iskrištia, svodiče prepätia). Prepät'ová ochrana je zariadenie, ktoré zamedzuje alebo obmedzuje vznik prepätí a zneškodňuje jeho účinky. Najjednoduchšie ochrany sa skladajú z jednotlivých súčiastok, ktoré môžeme označiť ako ochranné prvky, tzv. svodiče prepätia. Rozdeľujú sa na [3]:

- ochranné iskrištia
- prierazky
- bleskoistky
- diaky, triaky, tyristory, Zenerové diody, lavínové diody a špeciálne rýchle polovodičové súčiastky
- varistory z kysličnikov kovov (v poslednej dobe takmer výhradne používané)



Obr.č.8 Priebeh dočasného prepätia s dobou trvania t_1

5 Kolísanie napätia

Je rada zmien napätí alebo spojitá zmena efektívnej alebo maximálnej hodnoty napätí, ktorá neprekračuje 0,9 – 1,1 násobku menovitej hodnoty napätia. Kolísanie je vyvolané rýchlou zmenou amplitúdy prúdu záťaže, ktorá spôsobuje kolísanie napätia, v dôsledku čoho ľudské oko pozoruje blikanie svietidiel. Tento jav nazývame flicker (flicker v ang. literatúre).

Tvarovo rozlišujeme viac typov vlny napätia pri kolísaní [2]:

- sinusový tvar
- tvar periodických pravouhlých zmien napätia rovnakej veľkosti (napríklad spínanie odporovej záťaže, vykurovacie teleso)
- rada skokových zmien nepravidelných v čase, ich polarita môže byť negatívna aj pozitívna (napr. mnohonásobne spínanie viac záťaží)
- jasne rozlišiteľné zmeny záťaženia, ktoré nie sú všetky skokovými zmenami (napr. spínanie neodporovej motorickej záťaže)
- rada náhodných alebo spojitých kolísaní záťaže (napr. cyklicky alebo náhodne sa meniace zaťaženie – ťažný stroj, elektrická odporová pec)

Ďalej rozdelujeme **zmeny napätia** podľa veľkosti napäťovej vlny [2]:

a) v toleranci napätia

- pomalé periodické alebo náhodné zmeny (odchýlky x poklesy napätia)
- rýchle, niekedy aj skokové (EOP, zväračky)

b) mimo toleranciu napätia

- poklesy 5 – 90% U_n
- prerušenia < 5% U_n
- nárasty 110 – 120% U_n

Podľa dĺžky časového intervalu:

a) krátkodobé

- okamihové 0,5 – 30 cyklov
- okamžité 30 cyklov – 3 sec
- dočasné 3 sec – 1 min

b) dlhodobé > 1 min

- prerušenie < 5% U_n
- podpätie pod 90% U_n
- prepätie nad 110% U_n

5.1 Blikanie (flicker)

Blikanie (flicker) je pocit neustáleho zrakového vnímania vyvolaný svetelným podnetom, ktorého jas alebo spektrálne rozloženie kolísava v čase. Príčinou takého javu môže byť, napr. oblúčková pec, ktorej odoberaný prúd značne kolíše v čase. Prah vnímania blikania (flickru) je minimálna hodnota kolísania intenzity jasu alebo spektrálneho rozloženia, ktorá vyvoláva pocit blikania u ľudí. Mieru vnemu flickru určujeme na základe relatívnej zmeny napätia d , ktorá je definovaná následovne [2]:

$$d = \frac{\Delta U}{U_n} * 100 \text{ (%)}$$
 (5.1)

pričom

d – relatívna zmena napätia

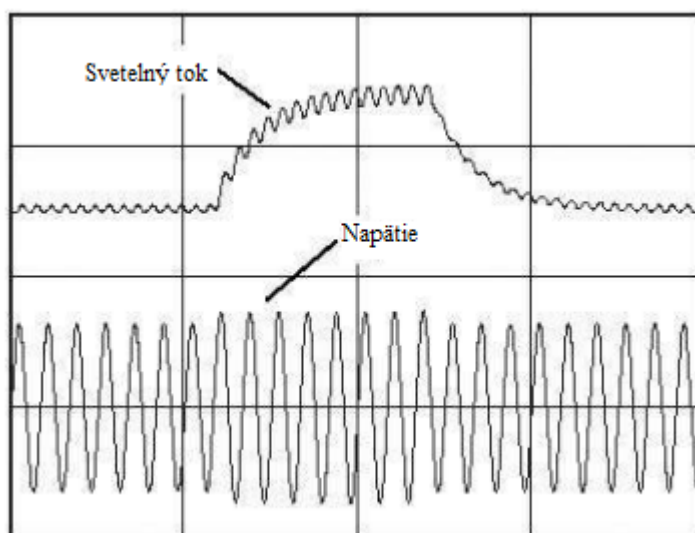
ΔU – zmena napätia (V)

U_n - menovitá hodnota napätia (V)

Pričom mieru vnímania flickru, ktorú definuje norma ČSN EN 50160 ako intenzitu neprijemnosti flickru rozdeľujeme na [1]:

- krátkodobú mieru vnemu flickru P_{st} , ktorá je meraná po dobu 10 minút
- dlhodobú mieru vnemu flickru P_{Lt} , ktorá je vypočítaná z postupnosti dvanástich hodnôt P_{sti} po dobu dvojhodinového intervalu použitím následovného vzťahu [1]:

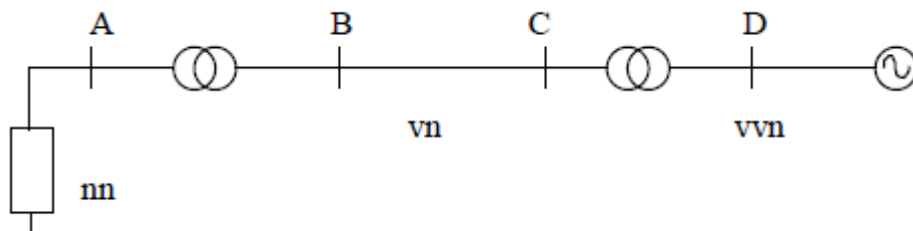
$$P_{Lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}}$$
 (5.2)



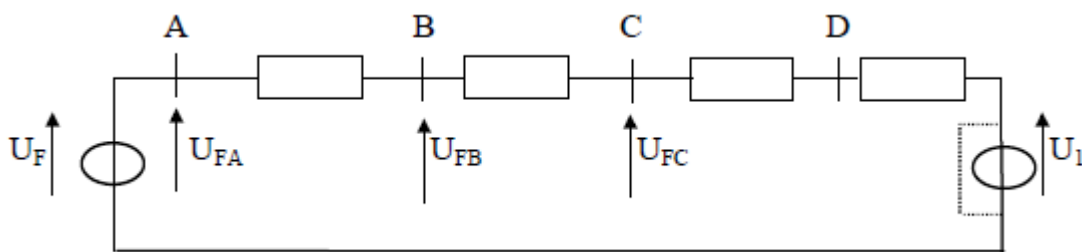
Obr.č.9 Zmena svetelného toku žiarovky spôsobená zmenou napätia

5.1.1 Šírenie flikru v sieti

Uvažujme 2 prípady, prvý prípad nastáva keď zdroj flikru je v sieti nízkeho napätia (nn) a neuvažujeme iný zdroj tohto rušenia.



Obr.č.10 Bloková schéma napätových hladín el. sústavy



Obr.č.11 Elektrická schéma napätových hladín el. sústavy pre zdroj rušenia v bode A

Z náhradnej schémy vidíme že, U_1 je napätie siete, body B a C sú umiestnené v sieti vn, bod A leží v sieti nn, napätie U_f reprezentuje rušenie. Zdroj rušenia U_f sa nachádza v sieti nn, takže efekt rušenia bude menší, pretože napätie U_f sa rozdelí v pomere sériových impedancií. Potom môžeme stanoviť hodnotu flikru na všetkých napätových úrovniach (body A, B, C) pomocou vzťahu [2]:

$$U_{FA} : U_{FB} : U_{FC} = \frac{1}{S_K^{(A)}} : \frac{1}{S_K^{(B)}} : \frac{1}{S_K^{(C)}} \quad (5.3)$$

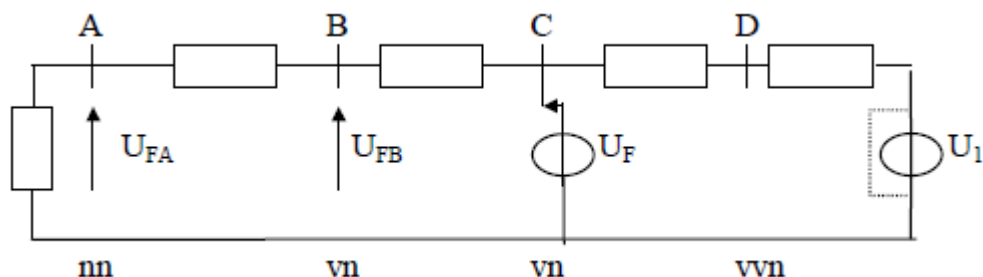
kde S_K sú skratové výkony v bodoch A, B, C. Ak uvažujeme iba body A, B potom [2]:

$$\frac{U_{FA}}{U_{FB}} = \frac{S_K^{(B)}}{S_K^{(A)}} \quad (5.4)$$

Ak je fliker úmerný zmenám napätia, potom krátkodobá miera vnemu blikania P_{st} na týchto dvoch úrovňach je [2]:

$$P_{st}^{(B)} = \frac{P_{st}^{(A)} S_K^{(A)}}{S_K^{(B)}} \quad (5.5)$$

Tieto vzťahy môžeme použiť aj pre ďalšie napäťové úrovne zmenou príslušných indexov.



Obr.č.12 Elektrická schéma napäťových hladín el. sústavy pre zdroj rušenia v bode C

Odôvodnenie potvrdzuje prvotnú úvahu, že rušenia generované v sieti nn sa redukujú v sieti vn a ich vplyv je lokálny. Charakteristiky zdrojov rušenia v sieťach vn a vvn sú menej priaznivé. Uvažujem zdroj rušenia U_f v bode C siete vn. Keďže reaktancia medzi bodmi A a C je omnoho menšia ako medzi bodom A a zemou, objaví sa U_F prakticky nezmenené v bode A. Takže [2]:

$$P_{st}^{(A)} \approx P_{st}^{(B)} \approx P_{st}^{(C)} \quad (5.6)$$

V bode D bude efekt rušenia značne nižší, podobne ako v prípade zdroja v sieti nn. Je to preto, že reaktancia medzi bodmi C a D je takmer rovná reaktanci medzi bodom D a zemou. Potom platí [2]:

$$P_{st}^{(D)} = \frac{P_{st}^{(C)} S_K^{(C)}}{S_K^{(C)}} \quad (5.7)$$

5.2 Možnosti potlačenia kolísania napätia

- pripojenie do siete s dostatočným skratovým výkonom, alebo obecné zväčšenie skratového výkonu. Skratový výkon sa dá zväčšiť:
 - a) zväčšením prierezu napájacieho vedenia
 - b) pripojením synchronného generátoru alebo kompenzátoru
 - c) využitím sériovej kompenzácie
 - d) pripojením do vyššej napäťovej hladiny
- u viac kolísajúcich zariadení obmedzením spolubehu týchto zariadení
- použitím špeciálnych kotiev pri rozbehu motorov
- u zväračiek:
 - a) zmenou tvaru napäťového pulzu
 - b) využitím jednosmerných agregátov
 - c) zmenou taktu zvarovania
- u EOP:
 - a) statickou alebo dynamickou kompenzáciou
 - b) zmenou regulácie elektród
 - c) využitím reaktorov
 - d) prechodom na jednosmerné EOP [2]

6 Nesymetria trojfázového napätia

Nesymetrické zaťaženie v trojfázovej sústave spôsobuje nesymetrický odber prúdu a tým aj nesymetriu napájacieho napätia, čo má za následok zvýšenie prenosových strát a nevyťaženosť trojfázového vedenia. Nesymetria napätia sa najčastejšie definuje pomocou koeficientu napäťovej a prúdovej nesymetrie [2]:

$$\rho_U = \frac{U_2}{U_1} * 100 (\%) \quad (6.1)$$

$$\rho_I = \frac{I_2}{I_1} * 100 (\%) \quad (6.2)$$

pričom

ρ_U – koeficient napäťovej nesymetrie

ρ_I – koeficient prúdovej nesymetrie

U_1 – súsledná zložka napätia

U_2 – spätná zložka napätia

I_1 – súsledná zložka prúdu

I_2 – spätná zložka prúdu

V trojvodičovej sústave sú prúdy vždy vyvážené, nakoľko nemôže nastať netočivá zložka prúdu. Avšak existencia spätnej zložky prúdu v sieťach so synchronnými a asynchronnými strojmi vyvolá pole, ktoré sa točí dvojnásobnou rýchlosťou v protismere poľa, vyvolaného budičom. Tým dochádza k prídavným stratám v rotore. V našich distribučných sieťach je hlavným zdrojom nesymetrie napätia striedavá trakcia, ktorá je pripojená medzi 2 fázy 110 kV vedenia. Taktiež jednofázové zaťaženie pripojené medzi fázový vodič a zemný vodič môže vyvolať značnú nesymetriu napätia.

Trojfázová sústava harmonických veličín (napätie alebo prúd) $f_a(t)$, $f_b(t)$, $f_c(t)$, ktoré sú reprezentované fázormi F_a , F_b , F_c je súmerná, ak majú tieto veličiny [2]:

- rovnakú efektívnu hodnotu $F_a = F_b = F_c$
- vzájomný fázový posun rovný $\frac{2\pi}{3}$

Trojfázová sústava harm. veličín je vyvážená, ak platí

$$f_a(t) + f_b(t) + f_c(t) = 0 \quad (6.3)$$

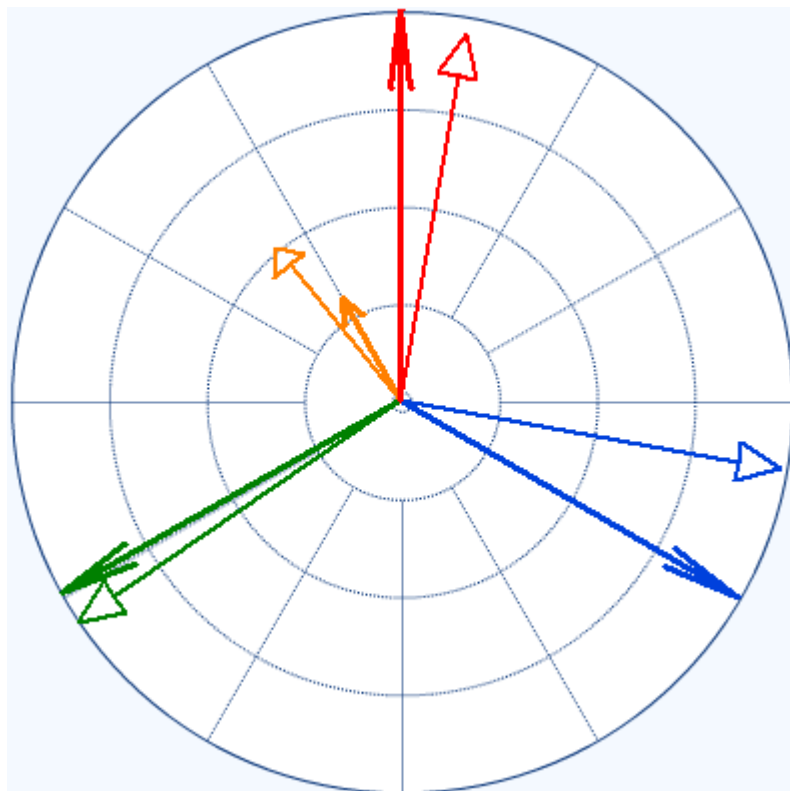
A taktiež aj pre jej fázory

$$F_a + F_b + F_c = 0 \quad (6.4)$$

Možnosti zníženia napät'ovej nesymetrie [2]:

- špeciálnou konštrukciou transformátorov:
 - a) Scottov transformátor (najviac rozšírený, ale u ČD sa nepoužíva)
 - b) Leblancov transformátor
 - c) trojfázový transformátor
- pripojením symetrizačných členov

Pri uvažovaní jednofázovej symetrizácie sa predpokladá aspoň približne **konštantná záťaž**, pri premenlivej záťaži by museli byť symetrizačné prvky premenlivé. Zároveň je výhodné súčasne so symetrizáciou vykonať aj kompenzáciu účinníku [2].



Obr.č. 13 Fázorový diagram prúdovej nesymetrie

7 Meracie prístroje pre monitorovanie kvality elektrickej energie

Norma ČSN EN 61000-4-30 rozdeľuje meracie prístroje slúžiace k monitorovaniu kvalitatívnych prvkov elektrickej energie do 3 kvalitatívnych tried následovne [4]:

- **Trieda A** - musí spĺňať najlepšie prevedenie a úrovne presností, aby sa dosiahli opakovateľné a porovnateľné výsledky.
- **Trieda S** - menej prísne úrovne presností. Analyzátory kvality energie triedy S sa môžu používať na štatistické meranie/pozorovanie ak sa nevyžaduje porovnateľné (opakované) meranie.
- **Trieda B** (menej používaná a zastaralá) - Táto trieda bola zavedená v 1. a 2. vydaní normy, kde bolo definované aby metódu merania a presnosť definoval výrobca v liste údajov o prístroji. V treťom doplnku (ed.3 február 2015) normy bola táto trieda odstránená.

7.1 Analyzátor siete BK-ELCOM ENA 500.22

Model ENA 500.22 (výrobca ELCOM) vyhovuje norme ČSN EN 61000-4-30 pre triedu A a meraniu kvalitatívnych parametrov siete podľa normy ČSN EN 50160. Vyznačuje sa robustnou konštrukciou v hliníkovej skrini a voliteľným počtom analyzovaných napätí a prúdov na niekoľkých 3-fázových sústavach súčasne jedným prístrojom. Digitálne vstupy sú vzorkované synchronne s analogovými vstupmi. Moduly firmwaru BK-Node môžu triggrovať a ukladať analogové vstupy súčasne s digitálnymi. Pre spracovanie nameraných dát slúži software BK-Report. Dostupné varianty prístroja (podľa počtu napäťových a prúdových vstupov) [8]:

- 1x4U+1x4I
- 1x4U+3x4I
- 2x4U+2x4I
- 1x3U+4x3I

Tab.č. 2 Technická špecifikácia prístroja BK-ELCOM ENA 500.22

Intervaly ukladania:	k*0,2s/ 3s/ 1min/ 10min/ 15min/ 2hod
Vzorkovacia frekvencia:	9600S/s, 19200S/s, 38400S/s
Šírka pásma:	45Hz až 2,5kHz
Presnosť:	+/- 0,1%
<u>Napäťové vstupy</u>	
Počet vstupov:	voliteľné 1x4, 2x4, 5x3
Vstupné rozsahy:	450V, 250V, 110V, 65V (RMS)
Vstupná impedancia:	200kOhm, 10pF
Izolačná pevnosť:	4,2kV RMS, 50Hz, 1min
Zapojenie:	1 a 3-fázové/+N, hviezda, trojuholník
<u>Prúdové vstupy</u>	
Počet vstupov:	voliteľné 1x4, 2x4, 3x4, 5x3, 4x3
Vstupný rozsah:	podľa použitých prúdových klieští

Ďalšie meracie prístroje firmy ELCOM pokračujú produktovou radou ENA-NXG, ENA441 (PQA), ENA470(PMU+PQA) a ENA8000.



Obr.č. 14 Merací prístroj ELCOM ENA 500.22

7.2 PQ monitor Meg38/C

Analyzátor kvality PQ monitor Meg38/C (výrobca MeGa Česká) je určený k meraniu a záznamu štyroch napätí a štyroch prúdov, činných a jalových výkonov v trojfázových sieťach nn, vn a vvn. Vyhovuje norme ČSN EN 61000-4-30 pre triedu A a meria kvalitatívne parametre energie podľa normy ČSN EN 50160. Harmonické vyšších radov a medziharmonické vyhodnocuje až do radu 125. Parametrizácia záznamu, vyčítanie nameraných dát, zobrazenie priameho merania spolu s oscilografickým záznamom sa prevádza pomocou programu PQ_Meg [5].

Tab.č. 3 Rozsah a presnosť Meg30/C

Veličina	Rozsah	Presnosť
Frekvencia	42,5 - 57,5 Hz	± 2 mHz
Napätie	10 - 150% U_n	$\pm 0,1\%$ U_n
Fliker P_{st}	1-4000 zmien/min.	5% P_{st}
Napät'ové javy	5 - 150% U_n	$\pm 0,2\%$ U_n
Prerušenie	0,02s - 180s	± 1 perioda
Nesymetria	0,5 - 5%	$\pm 0,1\%$



Obr.č. 15 PQ Monitor Meg38/C

7.3 Fluke 437-II Analyzátor kvality elektrickej energie

Analyzátor kvality Fluke 437-II (výrobca Fluke) pomáha vyhľadať problémy s kvalitou el. energie. Je navrhnutý aby pracoval s frekvenciami 50 Hz, 60Hz a 400Hz (letecký priemysel, príp. armádna technika). Monitoruje desať parametrov kvality el. energie v súlade s normou **EN 50160**, je plne kompatibilný s **triedou A** podľa normy **IEC 61000-4-30** a vyhovuje najvyšším bezpečnostným kategóriám (600 V CAT IV, 1000 V CAT III). Obsahuje 4 kanály pre súčasné meranie napätí a prúdov na troch fázových a jednom nulovom vodiči. Meria podiel harmonických vyšších rádov od 1-50. Automatický prechodný režim zaznamenáva data kriviek vo všetkých fázach súčasne frekvenciou 200 kHz až do hodnoty 6 kV. Poskytuje možnosť rozsiahlej analýzy údajov, kurzory a funkcia zoom sa môžu používať behom merania alebo na uložených nameraných údajov. Uložené údaje môžu byť uložené do PC pomocou softwaru Fluke View [6].

Tab.č. 4 Rozsah a presnosť analyzátoru Fluke 437-II

Veličina	Rozsah	Rozlíšenie	Presnosť
U ef. (AC+DC)	1 – 1000 V	0,01 V	$\pm 0,1\% U_n$
U špičkové	1 – 1400 V	1 V	$5\% U_n$
I (model i430 1x)	5 – 6000 A	1 A	$\pm 0,5\% I_n$
I (model i430 10x)	0,5 – 600 A	0,1 A	$\pm 0,5\% I_n$
f (50 Hz rozsah)	42,5 – 57,5 Hz	0,001 Hz	$\pm 0,01 Hz$
Cos φ	0 - 1	0,001	$\pm 0,1\%$

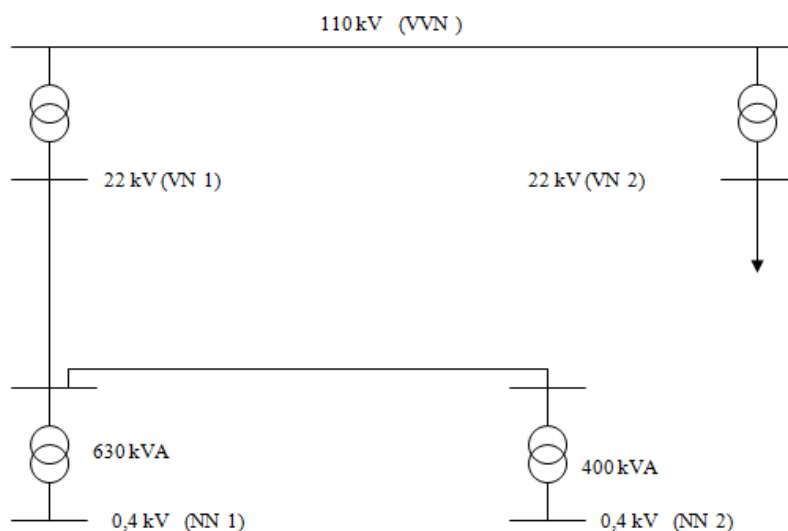
*Presnosti prúdu uvedené bez presnosti prúdového transformátoru



Obr.č. 16 Analyzátor 3-fázových sietí Fluke 437-II

8 Spracovanie meraných parametrov kvality

Meranie prebehlo pomocou meracieho prístroja BK-ELCOM ENA 500.22, a spracovanie meraných dat firmwarom BK-ELCOM, ktorý je vyvinutý pre spoluprácu s normami ČSN EN 50160 a ČSN EN 61000 [7]. Meranie prebehlo na anonymnom subjekte v Opavsku, a jedná sa o 2 týždňové nepretržité meranie (anonymita subjektu kvôli ochrane osobných údajov). Bolo meraných 5 napäťových hladín, ktoré pomenujem: **nn1**, **nn2**, **vn1**, **vn2** a **vvn**. Ku každej napäťovej hladine budem pristupovať individuálne. Pre demonštráciu vyhodnotenia týchto 5 meraných miest som zvolil grafické zobrazenie priebehov veličiny P_{Lt} (dlhodobá miera vnímania flikru) a U_n pre každú fázu 3-fázovej sústavy. Ďalej pre každé merané miesto porovnáam či 5% hodnôt všetkých normovaných parametrov neprekračuje vymedzenú mez stanovenú normou ČSN EN 50160 [1].



Obr.č. 17 El. schéma napäťových hladín

Tab.č. 5 Nastavenie parametrov podľa normy [1] pre analýzu pomocou BK-Report

Basic	Harmonics	InterHarm.	
Frekvence	Dolní limit	Horní limit	Normativní mez
Lim. 1	99 %	101 %	>=99.5 %
Lim. 2	94 %	104 %	=100 %
Napětí	Dolní limit	Horní limit	Normativní mez
Lim. 1	90 %	106 %	>=95 %
Lim. 2	85 %	110 %	=100 %
Flikr	Dolní limit	Horní limit	Normativní mez
PLT	-	1	>=95 %
PST	-	1	>=95 %
Nesymetrie U	Dolní limit	Horní limit	Normativní mez
Zpětná	-	2 %	>=95 %
Nulová	-	-	>=95 %
THD U	Dolní limit	Horní limit	Normativní mez
	-	8 %	>=95 %
HDO Signály	Dolní limit	Horní limit	Normativní mez
f	-	9 %	>=99 %

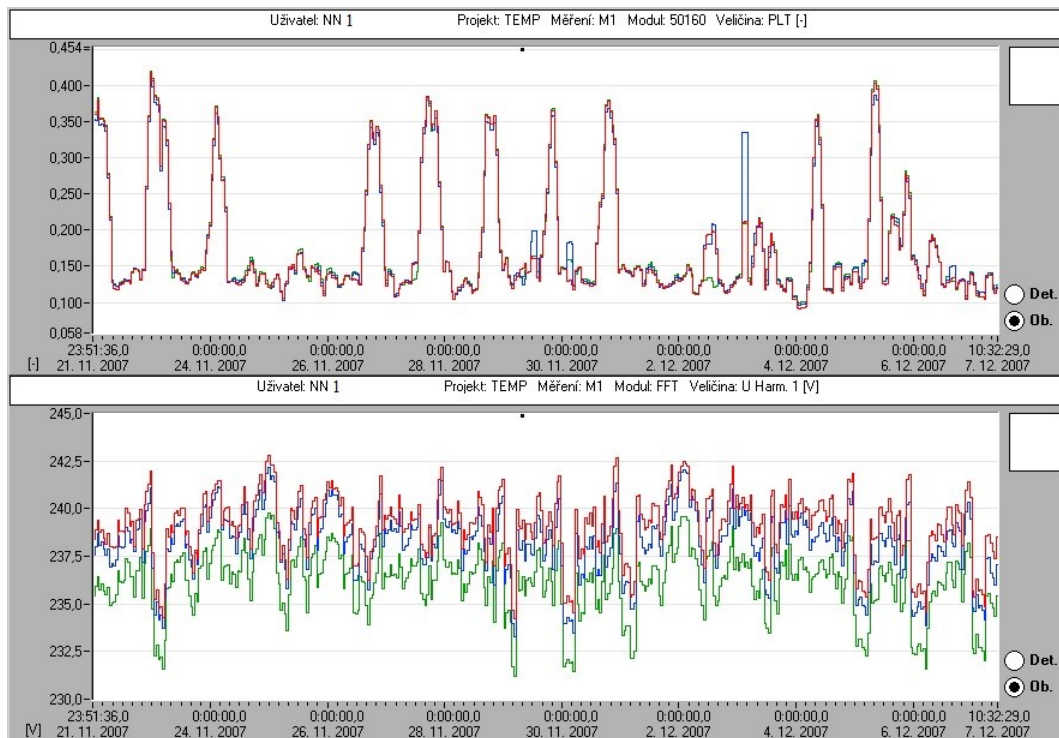
Basic	Harmonics	InterHarm.	
Harmonické U	Horní limit	Harmonické U	Horní limit
Uh 2	2 %	Uh 14	0.5 %
Uh 3	5 %	Uh 15	0.5 %
Uh 4	1 %	Uh 16	0.5 %
Uh 5	6 %	Uh 17	2 %
Uh 6	0.5 %	Uh 18	0.5 %
Uh 7	5 %	Uh 19	1.5 %
Uh 8	0.5 %	Uh 20	0.5 %
Uh 9	1.5 %	Uh 21	0.5 %
Uh 10	0.5 %	Uh 22	0.5 %
Uh 11	3.5 %	Uh 23	1.5 %
Uh 12	0.5 %	Uh 24	0.5 %
Uh 13	3 %	Uh 25	1.5 %

Normativní mez
>=95 %

8.1 Meranie NN1

Tab.č. 6 Normatívne vyhodnotenie parametrov hladiny NN1

Uživatel: NN_1 Projekt: TEMP Měření: M1						
Veličina	Limit	Interval	Min*/Max/% mimo	Min*/Max/% mimo	Min*/Max/% mimo	Splňuje?
Celkové						✓ Ano
Frekvence (50Hz)			3~			✓ Ano
Frekvence 99.5%	99%-101%	10s	49.96Hz/50.09Hz/0%			✓ Ano
Frekvence 100%	94%-104%	10s	49.96Hz/50.12Hz/0%			✓ Ano
Napětí (230V)			L1	L2	L3	✓ Ano
Napětí 95%	90%-106%	10min	233.43V/241.23V/0%	232.38V/240.44V/0%	230.36V/238.18V/0%	✓ Ano
Napětí 100%	85%-110%	10min	233.43V/242.82V/0%	232.38V/242.18V/0%	230.36V/239.81V/0%	✓ Ano
Fliker			L1	L2	L3	✓ Ano
PLT 95%	<= 1	10min	0.35/0%	0.34/0%	0.35/0%	✓ Ano
PST 95%	<= 1	10min	0.37/0%	0.36/0%	0.37/0%	✓ Ano
Nesymetrie U			3~			✓ Ano
Zpětná 95%	<= 2%	10min	0.78%/0%			✓ Ano
HDO Signály			L1	L2	L3	✓ Ano
f = 283Hz 99%	<= 9%	3s	0.05%/0%	0.05%/0%	0.05%/0%	✓ Ano
THD U			L1	L2	L3	✓ Ano
THD U 95%	<= 8%	10min	1.8%/0%	1.75%/0%	1.87%/0%	✓ Ano
Harmonické U -10min			L1	L2	L3	✓ Ano
U h1 (50Hz) 95%	-	10min	104.87%/0%	104.53%/0%	103.55%/0%	✓ Ano
U h2 (100Hz) 95%	<= 2%	10min	0.13%/0%	0.13%/0%	0.13%/0%	✓ Ano
U h3 (150Hz) 95%	<= 5%	10min	0.72%/0%	0.42%/0%	0.44%/0%	✓ Ano
U h4 (200Hz) 95%	<= 1%	10min	0.46%/0%	0.46%/0%	0.45%/0%	✓ Ano
U h5 (250Hz) 95%	<= 6%	10min	1.17%/0%	1.23%/0%	1.34%/0%	✓ Ano
U h6 (300Hz) 95%	<= 0.5%	10min	0.07%/0%	0.06%/0%	0.06%/0%	✓ Ano
U h7 (350Hz) 95%	<= 5%	10min	1.12%/0%	1.13%/0%	1.19%/0%	✓ Ano
Čas počátku:		Čas konce:		Délka měření / Počet 10min intervalů:		Platnost:
22. 11. 2007 0:10:00		7. 12. 2007 10:30:00		15 x den 10 x hodina 30 x minuta / 2223		Ano

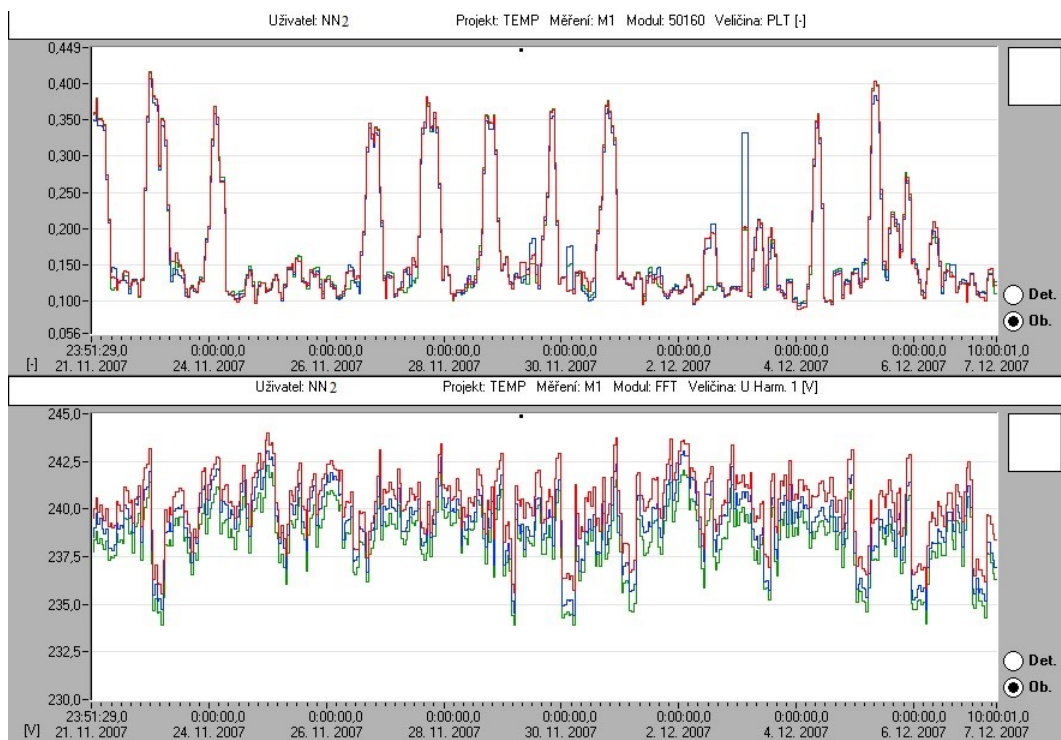


Obr.č. 18 Graf. priebehov veličín Plt a napätia na hladine NN1 pre všetky fázy

8.2 Meranie NN2

Tab.č. 7 Normatívne vyhodnotenie parametrov hladiny NN2

Užívateľ: NN_2 Projekt: TEMP Měření: M1						
Veličina	Limit	Interval	Min*/Max/% mimo	Min*/Max/% mimo	Min*/Max/% mimo	Splňuje?
Celkové						✓ Ano
Frekvence (50Hz)			3~			✓ Ano
Frekvence 99.5%	99%-101%	10s	49.96Hz/50.09Hz/0%			✓ Ano
Frekvence 100%	94%-104%	10s	49.96Hz/50.12Hz/0%			✓ Ano
Napětí (230V)			L1	L2	L3	✓ Ano
Napětí 95%	90%-110%	10min	234.65V/242.4V/0%	233.26V/241.44V/0%	232.77V/240.56V/0%	✓ Ano
Napětí 100%	85%-110%	10min	234.65V/244.01V/0%	233.26V/243.07V/0%	232.77V/242.31V/0%	✓ Ano
Flikr			L1	L2	L3	✓ Ano
PLT 95%	<=1	10min	0.34/0%	0.34/0%	0.35/0%	✓ Ano
PST 95%	<=1	10min	0.36/0%	0.36/0%	0.37/0%	✓ Ano
Nesymetrie U			3~			✓ Ano
Zpětná 95%	<=2%	10min	0.54%/0%			✓ Ano
HDO Signály			L1	L2	L3	✓ Ano
f = 216.66Hz 99%	<=9%	3s	0.49%/0%	0.49%/0%	0.48%/0%	✓ Ano
THD U			L1	L2	L3	✓ Ano
THD U 95%	<=8%	10min	1.86%/0%	1.92%/0%	2.37%/0%	✓ Ano
Harmonické U -10min			L1	L2	L3	✓ Ano
U h1 (50Hz) 95%	-	10min	105.38%/0%	104.97%/0%	104.58%/0%	✓ Ano
U h2 (100Hz) 95%	<=2%	10min	0.13%/0%	0.13%/0%	0.13%/0%	✓ Ano
U h3 (150Hz) 95%	<=5%	10min	0.65%/0%	0.5%/0%	0.65%/0%	✓ Ano
U h4 (200Hz) 95%	<=1%	10min	0.47%/0%	0.47%/0%	0.46%/0%	✓ Ano
U h5 (250Hz) 95%	<=6%	10min	1.23%/0%	1.35%/0%	1.68%/0%	✓ Ano
U h6 (300Hz) 95%	<=0.5%	10min	0.07%/0%	0.07%/0%	0.07%/0%	✓ Ano
U h7 (350Hz) 95%	<=5%	10min	1.14%/0%	1.18%/0%	1.37%/0%	✓ Ano
Čas počátku:		Čas konce:	Délka měření / Počet 10min intervalů:		Platnost:	
22. 11. 2007 0:10:00		7. 12. 2007 10:00:00	15 x den 10 x hodina / 2220		Ano	

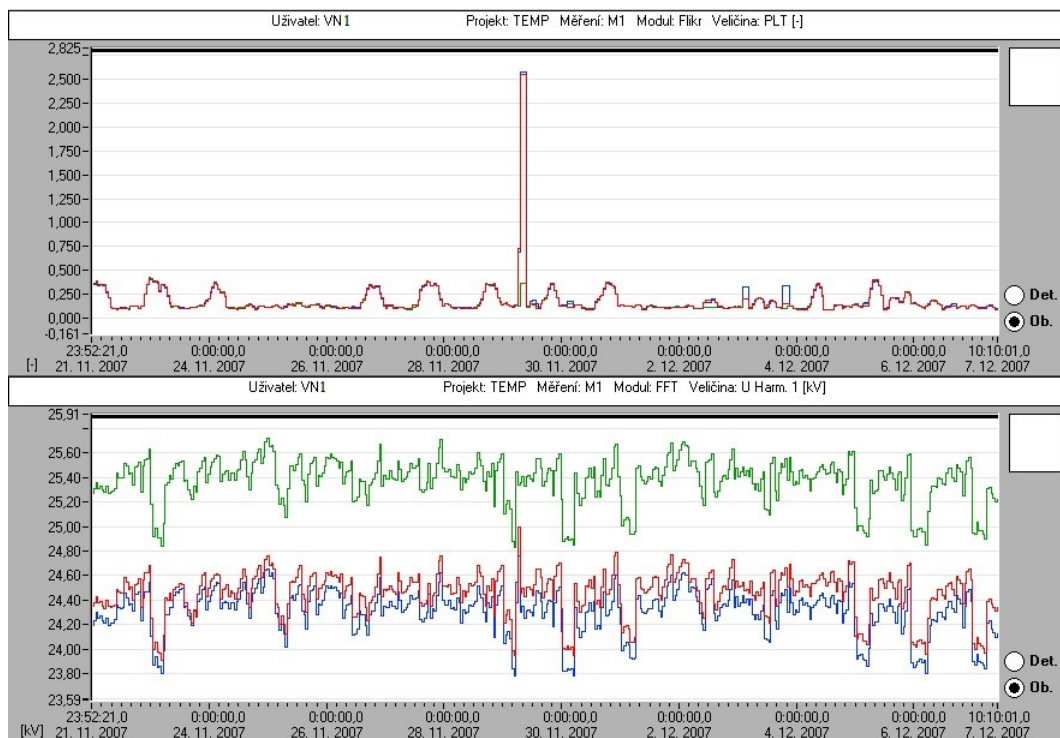


Obr.č. 19 Graf. priebehy veličín Plt a napätia na hladine NN2 pre všetky fázy

8.3 Meranie VN1

Tab.č. 8 Normatívne vyhodnotenie parametrov hladiny VN1

Uživatel: VN_1 Projekt: TEMP Měření: M1						
Veličina	Limit	Interval	Min*/Max/% mimo	Min*/Max/% mimo	Min*/Max/% mimo	Splňuje?
Celkové						Ne
Frekvence (50Hz)			3~			Ano
Frekvence 99.5%	99%-101%	10s	49.96Hz/50.09Hz/0%			Ano
Frekvence 100%	94%-104%	10s	49.96Hz/50.12Hz/0%			Ano
Napětí (22kV)			L1	L2	L3	Ne
Napětí 95%	90%-110%	10min	23.85kV/24.65kV/86.8...	23.69kV/24.51kV/71.2...	24.75kV/25.56kV/100%	Ne
Napětí 100%	85%-110%	10min	23.85kV/25kV/86.85%	23.69kV/24.76kV/71.2...	24.75kV/25.72kV/100%	Ne
Flikr			L1	L2	L3	Ano
PLT 95%	<= 1	10min	0/0%	0/0%	0/0%	Ano
PST 95%	<= 1	10min	0/0%	0/0%	0/0%	Ano
Nesymetrie U			3~			Ne
Zpětná 95%	<= 2%	10min	2.77%/100%			Ne
HDO Signály			L1	L2	L3	Ano
f = 283Hz 99%	<= 9%	3s	0.06%/0%	0.05%/0%	0.06%/0%	Ano
THD U			L1	L2	L3	Ano
THD U 95%	<= 8%	10min	1.29%/0%	1.38%/0%	1.48%/0%	Ano
Harmonické U - 10min			L1	L2	L3	Ano
U h1 (50Hz) 95%	-	10min	112.05%/0%	111.39%/0%	116.19%/0%	Ano
U h2 (100Hz) 95%	<= 2%	10min	0.13%/0%	0.13%/0%	0.13%/0%	Ano
U h3 (150Hz) 95%	<= 5%	10min	0.52%/0%	0.42%/0%	0.11%/0%	Ano
U h4 (200Hz) 95%	<= 1%	10min	0.5%/0%	0.5%/0%	0.51%/0%	Ano
U h5 (250Hz) 95%	<= 6%	10min	0.82%/0%	0.98%/0%	1.04%/0%	Ano
U h6 (300Hz) 95%	<= 0.5%	10min	0.06%/0%	0.06%/0%	0.06%/0%	Ano
U h7 (350Hz) 95%	<= 5%	10min	0.89%/0%	0.89%/0%	1.02%/0%	Ano
Čas počátku:		Čas konce:		Délka měření / Počet 10min intervalů:		Platnost:
22. 11. 2007 0:10:00		7. 12. 2007 10:10:00		15 x den 10 x hodina 10 x minuta / 2221		Ano

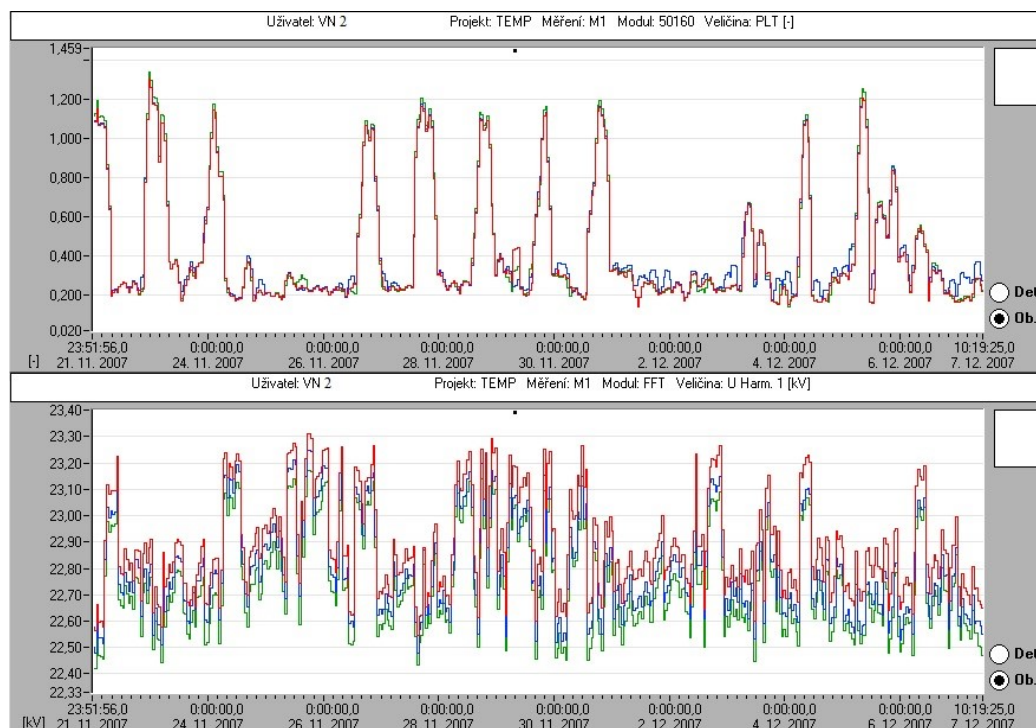


Obr.č. 20 Graf. priebehy veličín Plt a napätia na hladine VN1 pre všetky fázy

8.4 Meranie VN2

Tab.č. 9 Normatívne vyhodnotenie parametrov hladiny VN2









Užívateľ: VN_2 Projekt: TEMP Měření: M1						
Veličina	Limit	Interval	Min*/Max/% mimo	Min*/Max/% mimo	Min*/Max/% mimo	Splňuje?
Celkové						Ne
Frekvence (50Hz)			3~			Ano
Frekvence 99.5%	99%-101%	10s	49.96Hz/50.09Hz/0%			Ano
Frekvence 100%	94%-104%	10s	49.96Hz/50.12Hz/0%			Ano
Napětí (22kV)			L1	L2	L3	Ano
Napětí 95%	90%-110%	10min	22.42kV/23.19kV/0%	22.35kV/23.11kV/0%	22.29kV/23.05kV/0%	Ano
Napětí 100%	85%-110%	10min	22.42kV/23.31kV/0%	22.35kV/23.25kV/0%	22.29kV/23.17kV/0%	Ano
Flikr			L1	L2	L3	Ne
PLT 95%	<= 1	10min	1.06/8.37%	1.06/8.64%	1.09/9.28%	Ne
PST 95%	<= 1	10min	1.12/7.74%	1.11/7.65%	1.15/8.06%	Ne
Nesymetrie U			3~			Ano
Zpětná 95%	<= 2%	10min	0.4%/0%			Ano
HDO Signály			L1	L2	L3	Ano
f = 283Hz 99%	<= 9%	3s	0.04%/0%	0.04%/0%	0.04%/0%	Ano
THD U			L1	L2	L3	Ano
THD U 95%	<= 8%	10min	1.16%/0%	1.24%/0%	1.15%/0%	Ano
Harmonické U - 10min			L1	L2	L3	Ano
U h1 (50Hz) 95%	-	10min	105.39%/0%	105.03%/0%	104.78%/0%	Ano
U h2 (100Hz) 95%	<= 2%	10min	0.12%/0%	0.11%/0%	0.11%/0%	Ano
U h3 (150Hz) 95%	<= 5%	10min	0.56%/0%	0.38%/0%	0.24%/0%	Ano
U h4 (200Hz) 95%	<= 1%	10min	0.48%/0%	0.48%/0%	0.48%/0%	Ano
U h5 (250Hz) 95%	<= 6%	10min	0.27%/0%	0.28%/0%	0.27%/0%	Ano
U h6 (300Hz) 95%	<= 0.5%	10min	0.06%/0%	0.05%/0%	0.05%/0%	Ano
U h7 (350Hz) 95%	<= 5%	10min	0.32%/0%	0.41%/0%	0.42%/0%	Ano
Čas počátku:		Čas konce:		Délka měření / Počet 10min intervalů:		Platnost:
22. 11. 2007 0:10:00		7. 12. 2007 10:10:00		15 x den 10 x hodina 10 x minuta / 2221		Ano

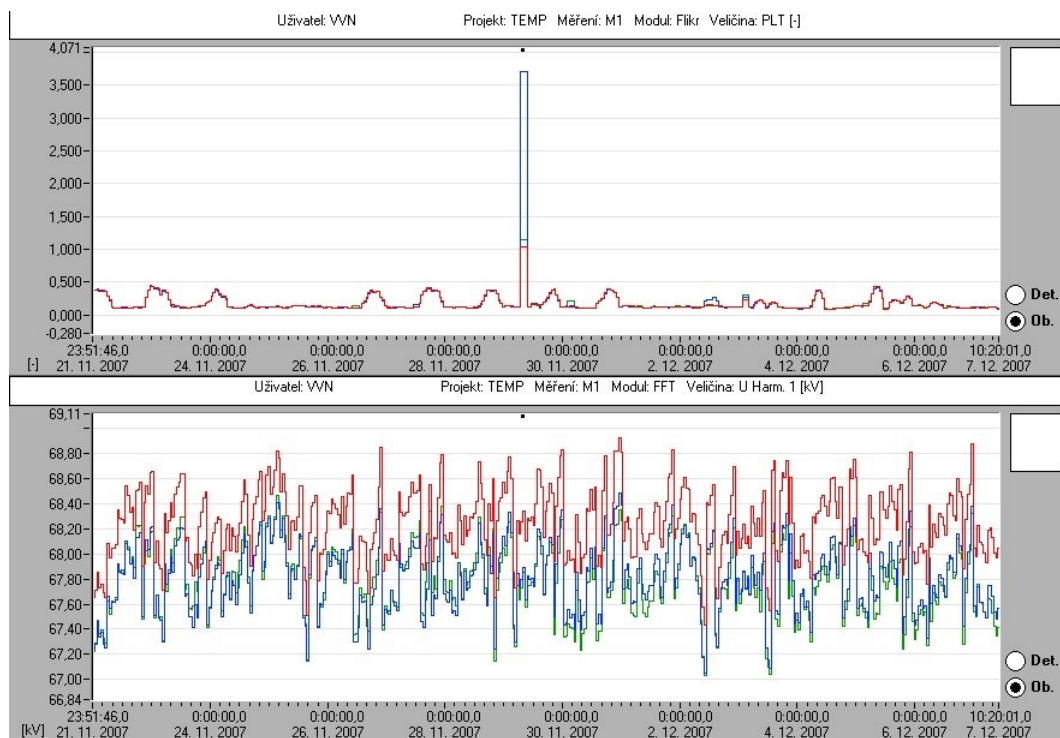


Obr.č. 21 Graf. priebehy veličín Plt a napätia na hladine VN2 pre všetky fázy

8.5 Meranie VVN

Tab.č. 10 Normatívne vyhodnotenie parametrov hladiny VVN

Užívateľ: VVN Projekt: TEMP Měření: M1						
Velikčina	Limit	Interval	Min*/Max/% mimo	Min*/Max/% mimo	Min*/Max/% mimo	Splňuje?
 Celkové						✓ Ano
 Frekvence (50Hz)			3~			✓ Ano
Frekvence 99.5%	99%-101%	10s	49.97Hz/50.09Hz/0%			✓ Ano
Frekvence 100%	94%-104%	10s	49.97Hz/50.12Hz/0%			✓ Ano
 Napětí (63.509kV)			L1	L2	L3	✓ Ano
Napětí 95%	90%-110%	10min	67.06kV/68.6kV/0%	66.73kV/68.17kV/0%	66.65kV/68.16kV/0%	✓ Ano
Napětí 100%	85%-110%	10min	67.06kV/68.93kV/0%	66.73kV/68.48kV/0%	66.65kV/68.47kV/0%	✓ Ano
 Flickr			L1	L2	L3	✓ Ano
PLT 95%	<=1	10min	0.37/0%	0.36/0%	0.36/0%	✓ Ano
PST 95%	<=1	10min	0.39/0%	0.38/0%	0.38/0%	✓ Ano
 Nesymetrie U			3~			✓ Ano
Zpětná 95%	<=2%	10min	0.5%/0%			✓ Ano
 HDO Signály			L1	L2	L3	✓ Ano
f = 216.66Hz 99%	<=9%	3s	0.52%/0%	0.5%/0%	0.51%/0%	✓ Ano
 THD U			L1	L2	L3	✓ Ano
THD U 95%	<=8%	10min	0.95%/0%	0.98%/0%	0.95%/0%	✓ Ano
 Harmonické U -10min			L1	L2	L3	✓ Ano
U h1 (50Hz) 95%	-	10min	108.02%/0%	107.33%/0%	107.33%/0%	✓ Ano
U h2 (100Hz) 95%	<=2%	10min	0.1%/0%	0.1%/0%	0.1%/0%	✓ Ano
U h3 (150Hz) 95%	<=5%	10min	0.32%/0%	0.56%/0%	0.26%/0%	✓ Ano
U h4 (200Hz) 95%	<=1%	10min	0.52%/0%	0.5%/0%	0.51%/0%	✓ Ano
U h5 (250Hz) 95%	<=6%	10min	0.37%/0%	0.51%/0%	0.5%/0%	✓ Ano
U h6 (300Hz) 95%	<=0.5%	10min	0.07%/0%	0.06%/0%	0.06%/0%	✓ Ano
U h7 (350Hz) 95%	<=5%	10min	0.66%/0%	0.52%/0%	0.63%/0%	✓ Ano
Čas počátku:		Čas konce:		Délka měření / Počet 10min intervalů:		Platnost:
22. 11. 2007 0:10:00		7. 12. 2007 10:20:00		15 x den 10 x hodina 20 x minuta / 2222		Ano



Obr.č. 22 Graf. priebeh veľičín Plt a napätia na hladine VVN pre všetky fázy

8.6 Vyhodnotenie merania

Celkové merané obdobie vykazuje dĺžku 15 dní 10 hodín, od 21.11.2007 do 7.12.2007, norma [1] požaduje 1 týždenné nepretržité meranie pre porovnanie parametrov kvality. Namerané data boli vyhodnotené z celého meraného obdobia, čo nemá vplyv na správnosť vyhodnotenia, pretože už len z grafických priebehov je partné, že na napäťových hladinách **VN1** a **VN2** boli prekročené normatívne medze v oboch týždňoch merania. Podľa normy [1] veľkosť dlhodobej miery flikru P_{Lt} nesmie prekročiť hodnotu **1**, čo nesplňuje napäťová hladina **VN2**. Keďže norma [1] nelimituje krátkodobu mieru flikru P_{St} z hľadiska flikru napäťová hladina **VN1** je v poriadku, tam však nevyhovuje normatívna medza pre menovité napätie, ktorá nesmie presiahnuť $\pm 10\% U_n$, a tým pádom aj napäťová nesymetria nevyhovuje. Čo sa týka ďalších parametrov ako celkový činiteľ skreslenia THD (normou [1] maximálne povolené 8%) a frekvencia (hraničná tolerancia $\pm 0,5$ Hz [1]) vyhovujú pre všetky napäťové hladiny. Medziharmocké zložky napätia norma ČSN 50 160 nerieši, avšak nemali by prekračovať 0,2% efektívnej hodnoty prvej harmonickej (stredná desať minútová hodnota), je ale uvádzaná v EMC normách (napr. ČSN EN 61000-2-2), ktorými sa do určitej miery riadia i pravidla prevádzky distribučných sústav. Celkovo zhodnotené:

- napäťové hladiny **NN1**, **NN2** a **VVN** vyhovujú norme ČSN EN 50160 v celom rozsahu analýzy
- napäťové hladiny **VN1**, **VN2** nevyhovujú norme ČSN EN 50 160, u VN1 mez menovitého napätia, u VN2 dlhodobá miera flikru

Tab.č. 11 Celkové zhodnotenie meraných veličín podľa ČSN EN 50 160

	NN1	NN2	VN1	VN2	VVN
Frekvencia	splňuje	splňuje	splňuje	splňuje	splňuje
Napätie	splňuje	splňuje	nesplňuje	splňuje	splňuje
Fliker	splňuje	splňuje	splňuje	nesplňuje	splňuje
THD U	splňuje	splňuje	splňuje	splňuje	splňuje
Nesymetria U	splňuje	splňuje	nesplňuje	splňuje	splňuje
Harmonické U	splňuje	splňuje	splňuje	splňuje	splňuje

Záver

V úvodných kapitolách tejto práce sú teoreticky popísané kvalitatívne parametry elektrickej energie. Každý parameter sledovaný normou ČSN EN 50160 je v tejto práci teoreticky vysvetlený, sú uvedené možné príčiny vzniku nežiadúceho stavu a spôsoby potlačenia, eliminácie alebo vyhnutie sa tomuto nežiadúcemu stavu. V práci sú uvedené aktuálne názvy sledovaných parametrov podľa normatívneho názvoslovía. Zároveň je táto práca vhodná ako teoretická príprava na meranie v oblasti kvality elektrickej energie, alebo zasvetenie sa do danej problematiky.

V ďalších kapitolách sú spomínané meracie prístroje a spôsoby vyhodnotenia kvality elektrickej energie podľa aktuálnej normy ČSN EN 50160 (ed.3). Sú tu spomínané 2 tradičné meracie prístroje a to ELCOM ENA 500.22 a Meg38/C, ktoré majú na trhu už modernejšie modely, avšak pre súčasnú dobu a súčasné požiadavky stále vyhovujú. Merací prístroj Fluke 437-II patrí medzi najmodernejšie meracie prístroje v danej oblasti, a jedná sa o veľmi schopný analyzátor sietí, avšak oproti prvým dvom meracím prístrojom je cenovo menej dostupný. Ku každému meraciemu prístroju je dodávaný / oficiálne prístupný software na spracovanie nameraných dát, prípadne ako v tejto práci vyhodnotenie podľa normy týkajúcej sa kvality elektrickej energie, či vykreslenie priebehov zvolených veličín a ich analýza.

V posledných kapitolách je spracované meranie na 5 meraných miestach (3 napäťové hladiny), a je porovnané celé meracie obdobie (15 dní 10 hodín) podľa aktuálnej normy ČSN EN 50160, a to z hľadiska celkovej tolerancie sledovaných parametrov (graficke priebehy) , a percentnému porovnaniu (či 5% hodnôt parametrov nepresahuje normou stanovenú mez, tabuľky). Software od spoločnosti ELCOM bol na spracovanie dát vhodný, pracovalo sa s ním prehľadne a jednoducho, a s príslušným manuálom nebol problém sa v softwaru orientovať. Data z merania sú spracované prísne podľa normy, a podľa nej taktiež vyhodnotené a odôvodnené. Táto norma ČSN EN 50 160 sa môže v budúcnosti upraviť (napr. nová edícia) a tým sa môžu podstatne zmeniť tolerancie jednotlivých parametrov kvality elektrickej energie, čo by pre sledovaný subjekt mohlo prípadne priniesť iný výsledok.

V závere tejto práce chcem uviesť myšlienku, že danej problematike kvality elektrickej energie je potrebné sa venovať, prinášať nové technológie potlačenia nežiadúcich účinkov na celkovú sieť, a vyhľadávať riešenia optimalizácie z dôvodu každoročne sa zhoršujúcej kvality elektrickej energie v distribučných sieťach zväčšujúcou sa celkovou požiadavkou na energiu.

Použitá literatura

- [1] ČSN EN 50160 ed. 3: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě
- [2] Santarius P.: Elektromagnetická kompatibilita, Učební texty VŠB-TUO, Ostrava, 2007
- [3] Mach, V.: Technika vysokého napětí. Ostrava, VŠB-TUO 2001 a 2006
- [4] ČSN EN 61000-4-30 ed. 3: Elektromagnetická kompatibilita, část: Zkušební a měřicí technika - Metody měření kvality energie
- [5] Manuál přístroja: PQ monitor Meg38/c, [online], [cit. 2020-01-21] Dostupné z: <http://e-mega.cz/?pg=meg-38c>
- [6] Manuál přístroja: Fluke 437 – II, [online], [cit. 2020-01-11] Dostupné z: <https://www.fluke.com/cs-cz/produkt/elektricke-testovani/kvalita-elektricke-energie/437-series-ii>
- [7] Manuál firmwaru: BK-ELCOM, dostupný při instalaci BK-ELCOM
- [8] Technické specifikace přístroja: BK-ELCOM ENA 500.22, [online], [cit. 2020-02-10] Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/87295/LYK0007_FEI_B2649_3907R001_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y